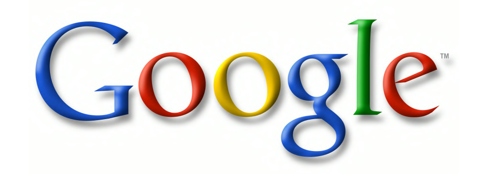

Google



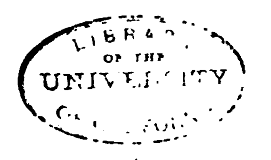
C

PROGRAMMES DES COURS

DE

L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE

DES MINES



PROGRAMMES DES COURS

DE

L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES

PRÉCÉDÉS

D'UNE NOTICE SUR L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉCOLE

PAR M. ADOLPHE CARNOT

ET SUIVIS

DES NOTATIONS ADOPTÉES DANS L'ENSEIGNEMENT

PAR M. ÉDOUARD SAUVAGE

ET

D'UN SUPPLÉMENT À LA NOTICE HISTORIQUE

PAR M. L. AGUILLON



PARIS

IMPRIMERIE NATIONALE

M DCCCC

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES.

Boulevard Saint-Michel, n° 60.

DIRECTION, CORPS ENSEIGNANT ET ADMINISTRATION.

MM.

Haton de la Goupillière (C. ✱, ⚘ I.), inspecteur général de 1re classe, Directeur.

Carnot (O. ✱, ⚘ I.), inspecteur général de 2e classe, Inspecteur.

Enseignement spécial.

MM.

Pellé (Maxime) [✱], ingénieur en chef de 2e cl.	Professeur.	Exploitation des mines.
Lodin (✱), ingénieur en chef de 1re classe...	*Idem.*	Métallurgie.
Carnot (O. ✱, ⚘ I.), inspecteur général de 2e classe, *d. n.*	*Idem.*	Analyse minérale.
Le Chatelier (Henri) [✱, ⚘ A.], ingénieur en chef de 1re classe	*Idem.*	Chimie ind^lle^ minérale.
Termier (✱), ingénieur en chef de 2e classe..	*Idem.*	Minéralogie.
Douvillé (✱, ⚘ A.), ingénieur en chef de 1re classe	*Idem.*	Paléontologie.
Bertrand (Marcel) [✱, ⚘ A.], ingénieur en chef de 1re classe	*Idem.*	Géologie générale.
de Launay, ingénieur ordinaire de 1re classe...	*Idem.*	Géologie appliquée.
Sauvage (✱), ingénieur en chef de 2e classe..	*Idem.*	Machines.
Vicaire (Eugène) [O. ✱, ⚘ A.] inspecteur général de 1re classe	*Idem.*	Chemins de fer.
Humbert (Georges) [✱], ingénieur en chef de 2e classe	*Idem.*	Construction.
Potier (O. ✱, ⚘ I.), ingénieur en chef de 1re classe	*Idem.*	Électricité industrielle.
Aguillon (O. ✱), inspecteur général de 2e classe.	*Idem.*	Législation.
Cheysson (O. ✱, ⚘ I.), inspecteur général de 1re classe des Ponts et Chaussées	*Idem.*	Économie industrielle.
Zeiller (✱, ⚘ A.), ingénieur en chef de 1re classe, chargé de leçons de		Paléontologie végétale.
Termier (✱), ingénieur en chef de 2e classe, *d. n.*, chargé de leçons de		Pétrographie.
Sauvage (✱), ingénieur en chef de 2e classe, *d. n.*, chargé de leçons de		Construction des machines.

B.

Pelletan (✱), ingénieur en chef de 1re cl., chargé de leçons de	Topographie.
Lenoir (✪ A.), chef des	Travaux graphiques.
Bossert (O. ✱, ✪ I.)	Langue allemande.
Morel (✪ I.)	Langue anglaise.

Laboratoire.

MM.

Le Professeur d'analyse minérale	Directeur.
Chesneau (✱), ingénieur en chef de 2e classe	Directeur adjoint.
Damour	Chef des travaux chimiques.
Chantepie	Aide préparateur.

Cours préparatoires.

MM.

Moutard (C. ✱, ✪ I.), inspecteur général de 1re classe (en retraite)	Professeur.	Mécanique.
Pelletan (✱), ingénieur en chef de 1re classe, *d. n.*	*Idem.*	Analyse et Géométrie descriptive.
Le Verrier (✱), ingénieur en chef de 1re classe.	*Idem.*	Physique.
Chesneau (✱), ingénieur en chef de 2e classe, *d. n.*	*Idem.*	Chimie générale.

Musée des Mines.

MM.

L'Inspecteur de l'École, conservateur des collections.

Le Professeur de minéralogie, conservateur adjoint de la collection de minéralogie.

Le Professeur de paléontologie, conservateur adjoint de la collection de paléontologie.

Le Professeur de géologie générale, conservateur adjoint de la collection de géologie.

Le Professeur de géologie appliquée, conservateur adjoint de la collection des gîtes minéraux et de la collection de géologie départementale.

Zeiller (✱, ✪ A.), ingénieur en chef, *d. n.*, attaché au service de la collection de paléontologie végétale.

Richard (✱), préparateur à la collection de minéralogie.

Cayeux (✪ A.), préparateur à la collection de géologie.

Dura[illegible]er, préparateur aux collections des gîtes minéraux et de métallurgie.

Laville, préparateur à la collection de paléontologie.

Terrier, aide préparateur à la collection de minéralogie.

Bureau d'essais pour les substances minérales.

MM.

Carnot (O. ✱, ✪ I.), inspecteur général, *d. n.*, Directeur.

Chesneau (✱), ingénieur en chef, *d. n.*, Directeur adjoint.

Rioult, chimiste.

Goutal, chimiste.

Service de santé.

M. le docteur Carnot (Paul).

Discipline.

M. de Villars (O. ✻), chef de bataillon du génie, retraité, officier surveillant.

Secrétariat. — Bibliothèque.

MM.
Herbert (✿ I.), secrétaire-régisseur.
Raynaud (✿ A.), secrétaire adjoint.
Beaucantin (✿ A.), rédacteur.

MM.
Pluyette (Edmond), bibliothécaire [1].
Thomas, expéditionnaire.

Conseil de l'école.

Le Conseil est présidé par M. le Ministre.

Membres du Conseil :

MM.
Le Directeur de l'École, *vice-président*.
L'Inspecteur de l'École.
Loriecx (Edmond) (O. ✻), inspecteur général de 1re classe.
Peslin (✻, ✿ A.), inspecteur général de 2e classe.
Nivoit (✻, ✿ A.), inspecteur général de 2e classe.
Les Professeurs de l'enseignement spécial.

L'Inspecteur de l'École remplit les fonctions de *secrétaire*.

---

[1] M. Lambelin (✻), bibliothécaire, a été retraité à la date du 1er janvier 1900.

NOTICE SUR L'ENSEIGNEMENT

DE

L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES,

PAR M. ADOLPHE CARNOT,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES, MEMBRE DE L'INSTITUT,

INSPECTEUR DE L'ÉCOLE.

L'École des mines de Paris est placée dans les attributions du Ministère des travaux publics. Elle est destinée, d'une part, à former les ingénieurs qui doivent recruter le *Corps national des mines*, de l'autre, à donner l'instruction technique aux jeunes gens qui, pourvus d'une solide instruction scientifique, veulent se préparer aux diverses carrières de l'industrie. Elle ouvre aussi ses portes, dans la limite du possible, aux étrangers accrédités par leurs gouvernements.

Les élèves appartiennent donc à trois catégories différentes.

1° Les *élèves ingénieurs des mines*, destinés à former le cadre des ingénieurs de l'État, sont toujours en très petit nombre (de trois à cinq); ils se recrutent exclusivement parmi les premiers élèves de l'École polytechnique, sortis avec un rang qui leur permet de choisir leur carrière. Leur nomination d'élèves ingénieurs est faite par décret du Président de la République.

Avant d'entrer à l'École des mines, ils accomplissent, après les deux années d'École polytechnique, une troisième année de service militaire en qualité de sous-lieutenants de réserve de l'artillerie. Ils sont, dès leur entrée, considérés comme fonctionnaires

et ils reçoivent des appointements mensuels et des frais de mission pour leurs voyages d'instruction.

2° Les *élèves externes* comprennent quelques élèves sortis de l'École polytechnique avec des notes et un rang satisfaisants et, en nombre bien plus grand (vingt-cinq environ), des élèves qui, antérieurement, ont été admis par voie de concours à l'*année préparatoire* et y ont reçu le complément d'instruction scientifique nécessaire pour pouvoir suivre avec fruit les *cours spéciaux* de l'École des mines.

Les études techniques ou professionnelles, désignées sous ce nom de *cours spéciaux*, ayant une durée normale de trois ans, on voit que le temps de séjour à l'École se trouve porté à quatre années scolaires pour les élèves externes qui commencent par les cours préparatoires; il se réduit à trois années pour ceux qui ont passé par l'École polytechnique;

3° Les *élèves étrangers* sont admis à la suite d'examens de capacité. Ces examens leur sont ouverts sur la recommandation du représentant de leur pays au Ministre des affaires étrangères, qui lui-même la transmet au Ministre des travaux publics. Le règlement a autorisé jusqu'ici les candidats étrangers à se présenter directement pour l'admission aux cours spéciaux; mais, en fait, un très petit nombre suit cette voie; la plupart éprouvent le besoin de se former d'abord dans les cours préparatoires, comme le font obligatoirement les candidats français.

Les élèves étrangers titulaires assistent à tous les cours ouverts aux élèves français. En principe, ils doivent également prendre part à tous les mêmes exercices pratiques; mais, sur ce dernier point, il y a, pour le moment, impossibilité pratique de faire l'assimilation complète. La place manque pour recevoir tous les élèves dans les laboratoires et dans les salles de dessin; elle suffit à peine pour les élèves titulaires français. Les étrangers ne pourront donc y être régulière-

ment admis, que lorsque des aménagements nouveaux des bâtiments de l'École permettront d'augmenter sensiblement le nombre des places disponibles. Ces aménagements sont déjà étudiés. Ils ne tarderont peut-être pas à s'exécuter et, à ce moment, l'assimilation des deux catégories d'élèves pourra devenir complète.

Parfois des étrangers, ayant d'avance une place marquée dans l'administration de leur pays, peuvent, sur la demande de leur gouvernement et à titre de fonctionnaires, être dispensés des examens de capacité et cependant être assimilés aux élèves étrangers titulaires; ils reçoivent alors des notes pour les exercices et les examens auxquels ils prennent part; mais, dans tous les cas, ils ne peuvent prétendre à aucun diplôme, celui-ci étant réservé aux seuls élèves titulaires. Ils peuvent seulement recevoir un certificat d'études partielles.

En dehors des élèves titulaires, français ou étrangers, il faut encore mentionner l'existence d'*auditeurs libres*. Les règlements ont, en effet, prévu l'admission aux leçons non publiques d'auditeurs, qui, sans être élèves de l'École, ont obtenu du directeur l'autorisation de suivre certains cours. Ils doivent, pour cela, présenter au directeur de l'École des références sérieuses, s'ils sont français, ou, s'ils sont étrangers, une recommandation personnelle de l'ambassadeur ou du ministre plénipotentiaire de leur pays. Les auditeurs libres ne participent à aucun des exercices pratiques, ils ne subissent aucun examen et ne peuvent obtenir aucun diplôme ou certificat. Ils sont purement et simplement autorisés à assister aux leçons qu'ils jugent pouvoir leur être utiles.

Cette autorisation est assez souvent recherchée par des ingénieurs ou par des officiers français ou étrangers, faisant ou ayant fait leurs études dans d'autres écoles, qui désirent compléter leur instruction sur un point spécial ou sur telle ou telle des sciences ou des applications industrielles, dont l'enseignement se fait à l'École des mines de Paris.

L'enseignement de l'École supérieure des mines est resté jusqu'ici entièrement gratuit.

Les élèves externes, les élèves étrangers et les auditeurs libres doivent seulement, en entrant à l'École, verser au secrétariat une somme de 50 francs, qui, sous le nom de *masse,* sert de garantie pour les dégâts mis à leur charge (échantillons de minéraux détruits, vases de platine mis hors de service, instruments ou meubles détériorés, etc.); la portion non dépensée de cette masse leur est remboursée, lorsqu'ils quittent l'École.

La libéralité de cette organisation a pu être encore augmentée, en 1893, grâce à une dotation importante laissée par le célèbre ingénieur Henry Giffard en faveur de différentes œuvres d'éducation morale et d'enseignement industriel. L'École des mines a reçu une part de cette dotation sous la forme de trois bourses, de 1,200 francs chacune, qui doivent être attribuées chaque année à trois élèves externes français appartenant soit aux cours spéciaux, soit à l'année préparatoire. Ces bourses sont particulièrement utiles pour des élèves de première ou de deuxième année, qui ont précisément à pourvoir à des dépenses exceptionnelles pour leurs voyages d'instruction.

La désignation des titulaires est faite au Ministre, après une enquête approfondie du Conseil de l'École, qui s'attache à tenir compte, à la fois, de l'insuffisance de ressources et des charges de la famille, du mérite et des aptitudes de l'élève, de la profession de son père et des services qu'il a pu rendre à l'État.

Chaque bourse est limitée à une année de durée, mais elle peut être maintenue au même titulaire, lorsqu'il est resté au nombre des plus méritants, aux divers points de vue qui viennent d'être signalés.

Nous nous occuperons maintenant de l'admission et de l'enseignement, en parlant d'abord des cours préparatoires et ensuite des cours spéciaux de l'École des mines.

1° ANNÉE PRÉPARATOIRE.

La communauté de toutes les études techniques entre les élèves sortis de l'École polytechnique et les élèves externes exige que ces derniers, avant d'aborder l'enseignement technique, y aient été préparés par des cours, où ils trouvent la partie la plus essentielle des sciences enseignées à l'École polytechnique. De là, l'institution des *cours préparatoires,* qui remonte à l'année 1844 et qui a été jugée de plus en plus indispensable pour le bon recrutement de l'École.

Jusqu'en 1896, les règlements ont laissé la faculté d'entrer à l'École des mines, soit en subissant le concours pour l'admission aux cours préparatoires, soit par un autre concours placé à l'entrée des cours spéciaux; mais les jeunes gens arrivant à l'École par ce second concours sont devenus de plus en plus rares, si bien qu'il a paru complètement inutile de maintenir cette épreuve, qui ne répondait plus à un besoin réel et qui entraînait beaucoup de complications. En vertu du décret du 18 octobre 1896, il n'existe plus aujourd'hui de concours que pour l'admission aux cours préparatoires; les élèves qui ont obtenu, à la fin de ces cours, des notes satisfaisantes passent de droit à la première année des cours spéciaux. L'année préparatoire est donc devenue une première étape obligatoire dans l'enseignement donné à l'École des mines.

Une seule exception, d'ailleurs bien naturelle, a été faite en faveur des élèves de l'École polytechnique ayant obtenu un rang de sortie et un ensemble de notes jugés suffisants. Sur l'avis du Conseil, ces jeunes gens, dont les examens ont porté sur les matières mêmes des cours préparatoires, sont admis, sans nouvelle épreuve, aux cours spéciaux.

On n'a pas osé appliquer aussitôt aux candidats étrangers la même mesure qu'aux candidats français et supprimer l'admission directe aux cours spéciaux, parce qu'il s'est présenté, jusqu'ici,

un certain nombre de candidats aux deux concours; mais il est visible que le nombre des candidats réussissant à entrer immédiatement aux cours spéciaux devient plus petit chaque année et l'on peut prévoir qu'il y aura bientôt lieu d'opérer pour les candidats étrangers la même simplification que pour les français.

Pour le moment, les candidats étrangers subissent les examens d'admission, soit pour les cours spéciaux, soit pour les cours préparatoires, vers le milieu du mois d'octobre. Ceux qui ont déjà suivi les cours préparatoires et ceux qui viennent du dehors subissent concurremment les mêmes épreuves.

2° CONDITIONS ET PROGRAMME D'ADMISSION.

Les candidats français doivent avoir dix-sept ans révolus et moins de vingt et un ans au 1er janvier de l'année dans laquelle ils se présentent au concours. Ils doivent s'être fait inscrire au Ministère des travaux publics avant le 1er septembre.

Le concours a lieu dans la première quinzaine du mois d'octobre, devant un jury composé des quatre professeurs des cours préparatoires; la date exacte de l'ouverture et le nombre maximum des admissions à prononcer sont arrêtés chaque année et publiés plusieurs mois à l'avance par le *Journal officiel*.

Les connaissances exigées pour l'admission diffèrent un peu de celles qui sont inscrites au programme d'admission de l'École polytechnique, notamment par des réductions sur la partie mathématique. Le programme a, d'ailleurs, été rédigé en termes généraux, de manière à désigner non pas des questions d'examen, mais en quelque sorte des têtes de chapitres de l'enseignement, et à laisser aux examinateurs une grande latitude dans la façon d'interroger les candidats et d'en apprécier la valeur, quel que soit le mode de préparation plus ou moins théorique qu'ils ont suivi avant de se présenter au concours.

Le programme porte sur :

1° L'arithmétique, l'algèbre, la géométrie plane et la géométrie dans l'espace, la géométrie descriptive;

2° La trigonométrie rectiligne et la géométrie analytique à deux et à trois dimensions;

3° Les parties de la physique relatives à l'optique, à la pesanteur, à l'hydrostatique, à la statique des gaz, à la chaleur;

4° Les lois générales de la chimie et l'étude des métalloïdes et des composés qu'ils forment entre eux.

Enseignement. — Les cours s'ouvrent au commencement de novembre et se continuent jusqu'au mois de mai. L'enseignement préparatoire a pour but essentiel de donner aux élèves des connaissances assez étendues et assez précises pour leur permettre de bien profiter de l'enseignement technique des années suivantes; il comprend quatre cours de sciences, des leçons de langues étrangères et des exercices pratiques.

1° *Analyse et géométrie descriptive.* — Calcul différentiel et intégral; divers modes de perspective et projections cotées; étude des surfaces usuelles; coupe des bois et des pierres (32 leçons).

2° *Mécanique.* — Cinématique pure et appliquée; dynamique du point matériel; statique; dynamique des systèmes; étude des principaux organes des machines (50 leçons).

3° *Physique.* — Optique; thermodynamique; magnétisme; électricité statique et courants électriques (45 leçons).

4° *Chimie générale.* — Lois générales de la chimie; propriétés des métaux, de leurs alliages et de leurs sels (50 leçons).

Monographie des divers métaux et de leurs composés.

5° Leçons de langue allemande et de langue anglaise. L'étude de l'une, au moins, de ces langues est obligatoire.

Les *exercices pratiques* consistent en : dessin géométrique, croquis de machines, dessin graphique et lavis, auxquels les élèves s'exercent chaque jour pendant la durée de l'année scolaire. En outre, des manipulations chimiques ont lieu pendant le dernier mois de l'année d'études préparatoires, lorsque les élèves des cours spéciaux ont terminé leurs périodes d'exercices et que les laboratoires sont devenus disponibles.

Des *interrogations* sont faites par les professeurs, d'une façon régulière et en dehors des leçons, pendant le courant de l'année. Il est tenu compte des notes obtenues par chaque élève pour le classement final.

L'année scolaire se termine par des *examens généraux*, également faits par les professeurs. Ces examens sont espacés à une dizaine de jours d'intervalle, pour permettre aux élèves de revoir avec détail chacun des cours.

Les notes des examens de fin d'année se combinent avec les notes des interrogations, les notes des exercices pratiques et les notes d'assiduité, pour aboutir à un classement définitif des élèves français entre eux et à l'établissement du nombre de points de mérite obtenus par chacun d'eux.

Ce classement est arrêté en séance du conseil.

Les élèves qui ont obtenu au moins 70 p. 100 du maximum des points, qu'il est possible d'obtenir, passent de droit dans les cours spéciaux.

Sur la proposition du Conseil, le Ministre peut autoriser, mais une fois seulement, à redoubler l'année préparatoire, les élèves qui ont eu de 70 à 60 p. 100 du maximum.

Il prononce l'exclusion de ceux dont le total des points n'a pas atteint 60 p. 100 du maximum.

Nous avons déjà expliqué que ces règles n'ont pas été, jusqu'ici, intégralement appliquées aux élèves étrangers; ceux-ci ne subissent

ni interrogations partielles, ni examens de fin d'année; mais ils sont admis à se présenter, au mois d'octobre, aux épreuves pour l'admission aux cours spéciaux, concurremment avec les candidats étrangers venus du dehors, auxquels on n'a pas cru devoir fermer l'accès direct des cours spéciaux.

3° COURS SPÉCIAUX.

Le système d'instruction des élèves des cours spéciaux se compose : de leçons orales données par les professeurs, d'exercices pratiques des élèves et de voyages d'instruction.

L'ensemble de l'enseignement a été l'objet d'une revision très attentive de la part du Conseil de l'École, en 1887; les mesures étudiées par lui ont été approuvées par le Ministre des travaux publics et sont entrées en vigueur dans les années suivantes. Elles ont été complétées par quelques modifications nouvelles en 1893 et 1899.

Les réformes ont eu pour principal but la création ou l'accroissement de certains cours, répondant à des branches nouvelles ou récemment développées de l'industrie, et une réduction corrélative de quelques autres parties de l'enseignement, qu'il a paru possible d'abréger, de manière à n'augmenter que le moins possible le nombre des leçons. Il a fallu se préoccuper en même temps de la coordination des différents cours, afin qu'il ne se produisît entre eux ni lacunes, ni redites, si ce n'est les redites volontaires, justifiées par la diversité des points de vue, sous lesquels une même question doit être envisagée.

On a évité de trop élargir le cadre des études, pour ne pas en faire une préparation générale et forcément insuffisante à toutes les carrières de l'industrie; on s'est attaché, au contraire, à approfondir le plus possible toutes les connaissances qui se rattachent à l'industrie minérale, de manière à avoir dans ce domaine un enseignement vraiment supérieur.

En même temps, on a cherché à compléter l'instruction technique des élèves, en donnant le plus de place possible aux exercices pratiques, qui sont particulièrement utiles pour exciter chez eux l'esprit de recherche et d'initiative.

On a fidèlement conservé la tradition, déjà ancienne à l'École des mines et qui a été imitée par plusieurs autres écoles, des voyages d'instruction, qui développent la faculté d'observation chez les jeunes gens, en même temps qu'ils leur ouvrent souvent des horizons nouveaux.

On a eu soin de maintenir la communauté des études et du régime intérieur entre les élèves ingénieurs, futurs ingénieurs de l'État, et les élèves externes, futurs ingénieurs de l'industrie active, malgré leur différence d'origine. Cette communauté d'instruction, au point de vue moral comme au point de vue technique, exerce assurément une très heureuse influence sur l'esprit des uns et des autres.

LEÇONS ORALES.

L'enseignement technique de l'École des mines a pour principal objet l'étude des matières minérales, de leurs gisements, de leur exploitation et de leur utilisation. Mais il a fallu, en outre, faire une place aux connaissances générales, qui se relient à cet objet principal, en instituant des cours relatifs aux machines, à l'électricité, aux chemins de fer, à la construction, à l'économie industrielle et à la législation des mines, des usines et des chemins de fer.

Cet ensemble de matières est réparti en seize cours bien distincts, professés dans l'espace de trois années.

Les programmes détaillés de ces cours seront donnés dans la suite de ce volume. Leur ordre de succession a été étudié avec soin par le conseil, comme ayant une grande importance. En effet, les uns doivent, pour ainsi dire, servir d'introduction aux autres, en

ce sens que les auditeurs y puisent des connaissances qui sont indispensables pour bien profiter des suivants; c'est ainsi, par exemple, que la minéralogie et la paléontologie doivent précéder la géologie générale, et celle-ci la géologie appliquée; il en est de même pour plusieurs autres. En outre, il importe de placer, autant que possible, dès le début les cours qui doivent fournir matière aux exercices pratiques des élèves, soit dans les laboratoires de chimie ou de minéralogie, soit dans les salles de dessin.

On trouvera indiqué dans le tableau suivant le titre des cours, leur répartition dans les trois années d'études et le nombre de leçons accordé à chacun d'eux.

PREMIÈRE ANNÉE.

Exploitation des mines	47 leçons.
Métallurgie (1re ou 2e partie) (1)	42
Chimie analytique minérale (2e ou 1re partie) (1)	40
Chimie industrielle minérale	32
Minéralogie	42
Paléontologie et paléophytologie	42
Topographie	12
TOTAL	257

DEUXIÈME ANNÉE.

Métallurgie (2e ou 1re partie) (1)	42 leçons.
Chimie analytique minérale (1re ou 2e partie) (1)	40
Chemins de fer	42
Géologie générale	42
Pétrographie	10
Machines	25
TOTAL	201

(1) Les cours de métallurgie et de chimie analytique se font en deux ans et sont, par conséquent, suivis par deux promotions à la fois.

TROISIÈME ANNÉE.

Géologie appliquée	40 leçons.
Hydraulique et construction de machines	25
Construction	25
Électricité industrielle	35
Législation	42
Économie industrielle	27
TOTAL	194

Les cours de *minéralogie*, de *paléontologie* et de *géologie générale* sont ouverts librement au public, comme cours de sciences pures, tandis que les cours de sciences appliquées à l'industrie ne sont accessibles qu'aux élèves ou aux personnes munies d'autorisations particulières.

En dehors des cours techniques, les élèves français des trois promotions doivent suivre les leçons des langues étrangères ou du moins obligatoirement l'une d'elles (allemande ou anglaise); il y a, par semaine, quatre leçons d'allemand (2 pour le cours inférieur, 2 pour le cours supérieur) et trois leçons d'anglais (2 pour le cours inférieur, 1 pour le cours supérieur).

Tout élève qui s'est inscrit, au commencement de l'année, pour l'un de ces deux cours doit passer l'examen de fin d'année correspondant. Le second cours est facultatif, ainsi que le second examen; mais, pour encourager à apprendre les langues, le règlement dispose que, lorsqu'un élève aura obtenu, pour la langue facultative, une note supérieure à 12, il bénéficiera de la moitié de l'excédent sur 12, ajoutée à sa note pour la langue obligatoire.

Les leçons d'ordre scientifique ou technique ont, en général, une durée d'une heure et demie; les leçons de langues, une durée d'une heure.

Les élèves ont aussi la faculté d'assister à deux cours libres, l'un de langue russe, inauguré en 1898, l'autre de langue espa-

gnole, en 1899. La connaissance de ces langues peut être fort utile aux ingénieurs, soit pour se créer une position en Russie, où l'industrie minérale prend un rapide essor, soit pour accomplir des missions industrielles dans les pays de langue espagnole.

EXERCICES PRATIQUES.

Les exercices pratiques ont, aux yeux du Conseil des professeurs, une grande importance, parce qu'ils obligent les élèves à réfléchir sur les leçons qu'ils ont entendues, pour les bien appliquer, et parce qu'ils les mettent aux prises avec des difficultés à résoudre, présentant quelque analogie avec des problèmes qu'ils rencontreront plus tard dans leur carrière.

Les élèves sont un peu guidés par les professeurs dans ces différents exercices; mais on a soin de leur laisser faire le plus possible par eux-mêmes. Car rien ne vaut autant que l'effort personnel pour l'apprentissage de la vie active.

Aussi fait-on en sorte de leur donner plus de temps pour le travail individuel et de les laisser se diriger eux-mêmes de plus en plus, à mesure qu'ils sont plus avancés dans leurs études. On peut remarquer, en effet, que le nombre des leçons orales diminue de la première à la deuxième année et, de nouveau, de la deuxième à la troisième. Le temps consacré aux exercices va, par conséquent, en augmentant.

Les deux principales occupations des élèves, en dehors du temps de cours et des heures qu'ils consacrent chez eux à l'étude de ces cours, consistent dans les exercices d'analyse chimique au laboratoire et le travail qu'ils ont à faire dans les salles de dessin.

La première et la deuxième promotion ont une première période de quatre semaines de dessin et sont ensuite appelées alternativement, pendant des périodes de trois semaines chacune, au laboratoire et au dessin. La promotion de troisième année consacre le premier

mois aux analyses chimiques et tous les mois suivants aux projets de concours dans les salles de dessin.

Au *laboratoire,* les élèves sont spécialement exercés à l'analyse chimique minérale; ils commencent par les essais qualitatifs et par quelques dosages spéciaux, de manière à s'habituer aux principales méthodes de voie humide et de voie sèche; ils continuent par des analyses complètes, de plus en plus difficiles, portant sur des minerais métalliques divers, des houilles, des argiles, calcaires, gypses, phosphates, silicates, et autres substances naturelles, ainsi que sur des produits d'usines, tels que fontes, aciers, alliages métalliques, verres, scories, ciments, etc.; ils terminent, en troisième année, par un travail final important, qu'on désigne sous le nom d'*analyses de concours.*

Au *dessin,* ils emploient les premières semaines à des exercices de dessin graphique et de lavis industriel; puis, ils ont à préparer des projets relatifs aux différents cours d'exploitation des mines, de métallurgie et des machines, dont le thème leur est donné par les professeurs. Ils font d'abord des études de détails, afin de s'exercer à choisir les formes et à calculer les dimensions des appareils dans un but déterminé; viennent ensuite des projets plus importants; enfin, pendant la troisième année, à la suite de leur second voyage d'instruction, dont ils profitent pour prendre des renseignements et des croquis dans les établissements industriels qu'ils visitent, les élèves ont à élaborer, dans l'ensemble et dans le détail, trois projets, qu'on appelle les *projets de concours,* dont les sujets ont été adoptés par le Conseil et qui sont relatifs à des questions d'exploitation, de machines et de métallurgie, ou qui peuvent se rapporter à des sujets intéressant les cours de chemins de fer ou d'électricité industrielle. Ces projets doivent être étudiés à fond, avec rapports, devis et planches de dessins, comme il convient à des élèves qui sont à la veille de devenir ingénieurs.

D'autres travaux pratiques encore sont demandés aux élèves

dans le cours de leurs études. Ils s'occupent, dans un laboratoire spécial, à mesurer les angles de cristaux au goniomètre, à déterminer les indices de réfraction, les formes et les propriétés optiques des minéraux. Ils s'exercent à faire la taille des plaques minces de roches et leur examen complet au moyen du microscope polarisant. Ils ont à leur disposition, dans une autre salle, des meubles à tiroirs remplis de minéraux, de roches, de fossiles, qu'ils s'habituent à reconnaître.

Ils peuvent, en outre, recourir aux magnifiques collections minérales de l'École, collections de minéralogie, de paléontologie animale et végétale, de géologie, de gîtes minéraux, collections départementales, qui sont ouvertes au public trois fois par semaine (le mardi, le jeudi et le samedi) et qui sont, de plus, ouvertes aux élèves les autres jours de la semaine, pendant la période voisine des examens.

Vers la fin de chaque année, ils visitent différents ateliers et des usines de diverses natures à Paris ou dans les environs, au point de vue des machines, des opérations industrielles ou de l'organisation du travail, sous la direction de professeurs et d'anciens élèves de l'École.

Après les examens de première année, les élèves restent pendant un mois au laboratoire, occupés d'analyses chimiques. Ils ont à suivre pendant le même temps des leçons de topographie et de nivellement; puis ils sont interrogés sur ce cours. Ils consacrent ensuite le mois de juillet à des exercices topographiques, soit à la surface du sol, en plein air, soit dans les galeries souterraines des anciennes carrières remblayées situées sous la ville de Paris, où ils s'exercent au lever des plans de mines, qu'ils pourront avoir à pratiquer ou à surveiller plus tard.

Pendant la deuxième année d'études, ils font, avec le professeur et le préparateur de géologie, des excursions autour de Paris, jusqu'à une distance telle qu'ils y emploient une demi-journée,

une journée ou enfin deux jours entiers. Ils terminent par une *grande course géologique,* qui dure huit jours, dans une région intéressante et accidentée, telle que les Vosges, le Jura, le Dauphiné, l'Auvergne, la Bretagne, la Normandie, etc. Cette course est à la fois une distraction agréable à leurs travaux et une excellente occasion d'apprendre, sous la direction des maîtres, à voir sur place et à reconnaître les différentes formations géologiques.

La présence des élèves externes à ces excursions n'est exigée qu'à la fin de la deuxième année, qui est celle où ils ont suivi le cours de géologie générale; ils peuvent aussi, mais alors facultativement, se joindre aux excursions lorsqu'ils sont en première ou en troisième année. Les élèves ingénieurs sont obligés de prendre part aux trois grandes courses annuelles, qui se font pendant la durée de leur séjour à l'École.

VOYAGES D'INSTRUCTION.

1° Après les examens de première année et les exercices de laboratoire et de lever de plans, c'est-à-dire à la fin de juillet, les élèves ingénieurs, externes et étrangers, quittent l'École, les uns pour se rendre dans leur famille, d'autres pour accomplir leur stage militaire. Tous doivent faire, avant la rentrée, un voyage d'instruction ou plutôt un séjour d'une durée d'un mois dans un ou deux centres miniers et métallurgiques de la France ou de la Belgique.

Les élèves ingénieurs sont placés sous la direction de l'ingénieur en chef de l'arrondissement minéralogique où ils se rendent.

Les élèves externes et étrangers suivent un programme, dont ils ont soumis les lignes principales à l'inspecteur de l'École.

Les uns et les autres sont tenus de rédiger, à peu près au jour le jour, un *compte rendu* de ce qu'ils voient et apprennent; ils doivent le remettre aussitôt après leur rentrée à l'École, c'est-à-dire au commencement de novembre; ce compte rendu est exa-

miné par l'un des professeurs de l'École et en reçoit une note, qui sera comptée plus tard dans le calcul des points, pour le classement de deuxième année.

2° Un deuxième voyage d'instruction est fait l'année suivante par les mêmes élèves à la suite de leur deuxième année d'études; mais, cette fois, le voyage peut commencer dès le mois de juin, aussitôt après la fin des examens de passage, et il peut avoir, en conséquence, une durée bien plus grande, de trois mois à trois mois et demi.

Les élèves ingénieurs soumettent à l'examen du Conseil de l'École un projet d'itinéraire pour un voyage de cent jours, qu'ils sont tenus de faire en France ou en Belgique; le programme en est définitivement arrêté par le Ministre des travaux publics.

Les élèves externes et étrangers présentent leurs projets à l'inspecteur de l'École pour un voyage de durée à peu près égale; mais ils ne sont obligés de passer que le premier mois en France ou en pays de langue française; le reste peut être fait à l'étranger, lorsque l'élève en connaît assez bien la langue.

Les élèves consacrent le temps du voyage à visiter des mines et carrières, des usines métallurgiques, des lignes et des ateliers de chemins de fer, des établissements de construction de machines, etc. Ils consignent leurs observations dans le *journal* et les accompagnent de dessins et surtout de croquis cotés.

Le Conseil de l'École, attachant une grande importance à ce que la rédaction soit faite au fur et à mesure du voyage et non pas au retour avec l'aide de documents écrits ou imprimés, exige que les journaux du second voyage soient, de même que les comptes rendus du premier, remis à l'École le jour même de la rentrée. Ils sont soumis à l'examen de deux professeurs, qui leur donnent chacun une note de mérite, sans se concerter ensemble; la moyenne de ces notes sert au calcul du classement de troisième année.

3° Après l'achèvement de la troisième année d'études, les élèves ingénieurs doivent faire encore un voyage d'instruction, qui n'est pas exigé des élèves externes ou étrangers. La durée réglementaire de ce voyage est de cent jours, comme pour le précédent; mais, contrairement aux premiers et précisément pour les compléter, ce dernier voyage se fait à l'étranger, parfois même dans des régions assez lointaines pour que les élèves jugent à propos de le prolonger, afin d'en tirer le meilleur parti possible.

Le projet de voyage est préparé par les élèves eux-mêmes, mais examiné et modifié, s'il y a lieu, par le Conseil de l'École; le Conseil choisit aussi les sujets de deux mémoires, dont chaque élève doit rapporter les éléments pour les rédiger dès son retour. L'itinéraire de la mission et les sujets de mémoires sont soumis à l'approbation du Ministre.

Le journal de voyage doit être remis dès la rentrée et, par conséquent, doit être écrit autant que possible en cours de route. Pour la remise des mémoires, le règlement laisse aux élèves jusqu'au 31 décembre de la même année et il leur est permis de consulter, non seulement leurs notes, mais les manuscrits ou les publications françaises ou étrangères, à la condition de citer toujours les sources de leurs informations.

Ces travaux, auxquels les professeurs de l'École attachent beaucoup d'importance, peuvent être comparés à de véritables thèses; ils permettent d'apprécier le degré de jugement et de maturité d'esprit, auquel sont parvenus les futurs ingénieurs, en associant les observations personnelles qu'ils ont tirées de leurs voyages aux connaissances diverses qu'ils ont puisées dans les leçons de leurs professeurs.

Examens. — L'état de l'instruction des élèves est constaté, durant le cours de l'année, au moyen d'*interrogations périodiques* faites par les professeurs. Ces interrogations, qui ont été instituées en 1893, ont pour but, d'une part, de permettre à chaque professeur de mieux connaître ses élèves, de savoir si son enseignement a été bien compris ou s'il a besoin de développements nouveaux, d'autre part, de maintenir en haleine tous les élèves et de les obliger à mettre jour par jour au courant leurs cahiers de notes, qu'ils doivent présenter à chaque interrogation.

Mais, en demandant l'organisation de ces examens partiels, le Conseil n'a pas voulu qu'ils fussent l'objet d'une longue préparation et que cela pût nuire aux travaux de laboratoire ou à l'étude réfléchie des projets d'ingénieurs; aussi a-t-il été décidé que les élèves ne seraient prévenus que la veille des interrogations qu'ils auraient à subir; ils sentent mieux ainsi la nécessité de tenir leurs notes constamment à jour et ils ne peuvent passer qu'un petit nombre d'heures à revoir les leçons sur lesquelles ils vont avoir à répondre.

Les *examens de fin d'année* commencent aussitôt après la fin des cours, c'est-à-dire dans la seconde quinzaine du mois d'avril; ils se prolongent jusqu'à la fin du mois de mai. Six semaines sont, en effet, nécessaires pour la série de ces examens, une semaine de préparation étant réservée pour chacun d'eux. Ce temps ne semble pas trop long pour repasser à fond toutes les parties d'un cours, qui comprend, en général, au moins une quarantaine de leçons bien remplies.

C'est une période particulièrement laborieuse, car les mieux classés des élèves se disputent les premières places avec une vive émulation, tout amicale d'ailleurs, et d'autres, qui ont moins bien réussi, sont poussés au travail par la crainte de notes insuffisantes, qui pourraient compromettre leur sortie et leur avenir.

Notes. — Examens, interrogations, travaux pratiques, comptes rendus et journaux de voyages, etc., tout ce qui est susceptible de notes, concourt à établir le classement des élèves, soit pour le passage d'une division à une autre, soit pour la sortie de l'École. Les notes sont échelonnées de 0 à 20; chacune est affectée d'un coefficient spécial et fournit ainsi un certain nombre de points de mérite, qui sont transportés intégralement d'une année dans la suivante. Le total des points obtenus détermine le rang de classement de chacun.

Cependant, afin d'éviter que les élèves ne négligent aucune des matières de l'enseignement et ne laissent ainsi des lacunes dans leur instruction, le règlement exige que les trois notes les plus basses ne forment pas un total inférieur à 24. Quiconque ne satisferait pas à cette condition serait de droit exclu de l'École. Si une seule note descend à 8, l'élève n'est pas forcément exclu; mais il appartient au Conseil d'apprécier les résultats de son travail et de déclarer l'exclusion, s'il les juge insuffisants.

Discipline. — Le travail des élèves se fait en partie chez eux, en partie à l'École.

Ils ont à étudier et à compléter au besoin leurs notes de cours et, à cette occasion, à consulter les ouvrages qui leur ont été signalés; ils ont à préparer leurs projets relatifs à l'exploitation des mines, aux machines et à la métallurgie; ces différents travaux peuvent se faire en partie à domicile, dans la matinée ou dans la soirée, mais peuvent aussi se continuer à la bibliothèque et dans les salles de dessin; enfin les exercices chimiques, minéralogiques etc., exigent la présence dans les laboratoires de l'École.

Pour la première partie, on ne peut que s'en remettre aux élèves eux-mêmes et compter sur leur désir de s'instruire et de réussir aux examens. Quant au travail qui se fait dans les salles de l'École, il est soumis aux règles suivantes.

Les élèves doivent être présents à l'École de 9 heures à 11 heures

du matin et ensuite de midi et demi à 5 heures au moins; la présence se prolonge jusqu'à 6 heures les jours où ont lieu les leçons de la langue étrangère pour laquelle ils se sont fait inscrire. Ils peuvent rester facultativement, tous les soirs, jusqu'à 6 heures à la bibliothèque et jusqu'à 7 heures dans les salles de dessin.

Les cours ont lieu à 9 heures du matin, à midi et demi ou à 3 heures, les leçons de langues à 5 heures. Dans l'intervalle des leçons, les élèves doivent se trouver dans leurs salles de dessin, ou au laboratoire, ou à la bibliothèque; ils peuvent aussi, à certains jours et surtout à certaines époques, fréquenter les collections de minéralogie, de paléontologie et de géologie générale ou de géologie appliquée.

La présence est constatée, à l'arrivée et au départ, par l'officier surveillant, qui en prend note ou qui reçoit les signatures à heure déterminée sur un registre. De temps en temps et à des intervalles quelconques, il s'assure par des appels de la présence de chaque élève dans l'une des salles où il doit être régulièrement occupé.

Les absences qui n'ont pas été autorisées par le directeur ou par l'inspecteur de l'École ou qui n'ont pas été justifiées par un certificat de maladie, délivré ou contrôlé par le médecin de l'École, sont portées au compte de l'élève et entrent dans le calcul des points de mérite.

A cet effet, il est attribué à chaque élève 40 points d'assiduité par année scolaire; chaque manque à l'appel fait perdre un point; deux points sont retranchés pour absence à un cours où l'élève s'est fait inscrire comme présent; un retard de moins de dix minutes donne lieu à une déduction d'un demi-point.

Des points d'assiduité sont également retranchés, soit pour absence ou retard à un examen, soit pour remise tardive d'un travail (procès-verbal d'analyse, dessin ou projet, compte rendu ou journal de voyage), soit pour absence à une excursion géologique, lorsque ces irrégularités n'ont pas été justifiées.

L'état des points d'assiduité est porté tous les mois à la connaissance des élèves par un tableau affiché dans l'un des corridors de l'École, de manière à prévenir les élèves et à provoquer les rectifications, s'il y a lieu.

Tout élève qui arrive à perdre 40 points d'assiduité dans le cours d'une session est immédiatement exclu de l'École.

Classement. — Le classement des élèves est arrêté à la fin de l'année dans chaque promotion, par le Conseil de l'École. Il est déterminé par le nombre des points de mérite obtenus en tenant compte de tous les examens et interrogations, des exercices pratiques de tout genre et des travaux de voyage, et en affectant chaque note du coefficient réglementaire correspondant; on ajoute aux points de mérite les points d'assiduité restants.

Le passage d'un élève d'une année à l'autre ne peut être autorisé que s'il a obtenu au moins 55 p. 100 du total des points qui peuvent être acquis dans l'année, total calculé en supposant la note 20 à chaque examen et à chaque exercice pratique.

Le classement se fait chaque année et séparément pour les élèves ingénieurs, les élèves externes et les élèves étrangers, en ajoutant aux points obtenus dans l'année l'intégralité de ceux qui ont été obtenus dans les années précédentes depuis le commencement des cours spéciaux.

Le classement final des *élèves ingénieurs* n'a lieu qu'après la remise des travaux de voyages (journaux et mémoires) exécutés à la suite de la troisième année. Ils sont alors nommés *ingénieurs des mines* de 3e classe et choisissent, dans l'ordre du classement, parmi les emplois qui leur sont offerts par l'Administration supérieure.

Le classement final des *élèves externes* se fait à la fin des examens de troisième année. Le *diplôme supérieur d'ingénieur civil des mines* est délivré par le Ministre à ceux qui ont obtenu au moins 65 p. 100 du maximum. Ceux qui n'ont pas atteint 65 p. 100 ne

peuvent pas recevoir le diplôme; mais, s'ils ont dépassé 55 p. 100, le directeur de l'École leur remet un *certificat d'études*, sur lequel sont inscrites les notes obtenues sur chaque matière.

Les *élèves étrangers* qui ont eu, chaque année, au moins 55 p. 100 du maximum correspondant aux examens et exercices, auxquels ils ont participé, reçoivent du directeur un *certificat d'études*, sur lequel sont inscrites les notes par eux obtenues. Ceux d'entre eux qui ont satisfait à toutes les épreuves, dans les conditions exigées des élèves français, et qui ont eu au moins 65 p. 100 du maximum des points qu'il leur était possible d'acquérir, reçoivent du Ministre, comme les élèves français, le diplôme supérieur d'*ingénieur civil des mines*. Un certificat d'*études partielles* est délivré à ceux qui n'ont pas suivi l'ensemble des études de l'École, mais se sont bornés, avec l'assentiment du représentant de leur gouvernement, à assister à certains cours et à subir les examens sur ces cours seulement; ces certificats portent la mention des cours qu'ils ont fréquentés et des notes qu'ils ont obtenues.

Nous terminerons cet exposé en donnant un tableau général de l'emploi du temps des élèves pendant l'année préparatoire et pendant les trois années d'études spéciales.

Il va sans dire que ce tableau s'applique uniquement aux leçons et aux exercices qui se font à l'École même, c'est-à-dire aux heures de présence obligatoires, sans tenir compte du temps consacré par les élèves, soit chez eux, soit dans les salles de dessin et à la bibliothèque de l'École, à l'étude des matières de l'enseignement.

EMPLOI DU TEMPS.

ANNÉE PRÉPARATOIRE.

	NOMBRE D'HEURES dans l'année.
Leçons de mécanique	75 h.
— d'analyse et descriptive	48
— de physique	68
— de chimie générale	75
— de langues étrangères	60
TOTAL	326
Exercices de dessin et lavis	466
Manipulations de chimie	42
TOTAL	508

Préparation des examens de fin d'année .... 40 jours.

COURS SPÉCIAUX.

PREMIÈRE ANNÉE
(Y COMPRIS LES EXERCICES D'ÉTÉ).

Leçons d'exploitation des mines	70 h.
— de métallurgie	63
— de chimie analytique	60
— de chimie industrielle	48
— de minéralogie	63
— de paléontologie	63
— de topographie	18
— de langues étrangères	60
TOTAL	445
Dessins et projets d'exploitation et de métallurgie	230
Exercices d'analyse minérale	320
— de minéralogie et de paléontologie	30
TOTAL	580

Exercices de lever de plans	22 jours.
Préparation des examens de fin d'année	44
Voyage d'instruction	30

DEUXIÈME ANNÉE.

Leçons de métallurgie	63 h.
— de chimie analytique	60
— de géologie	63
— de pétrographie	15
— de chemins de fer	63
— de machines	38
— de langues	60
TOTAL	362
Projets d'exploitation, métallurgie et machines	255
Exercices d'analyse minérale	155
— de pétrographie	30
TOTAL	440
Visites industrielles	Mémoire.
Excursions géologiques	14 jours.
Préparation des examens	44
Voyage d'instruction	100

TROISIÈME ANNÉE.

Leçons de géologie appliquée	60 h.
— de construction	38
— d'hydraulique et construction de machines	38
— d'électricité industrielle	53
— de législation	63
— d'économie industrielle	40
— de langues	60
TOTAL	352
Analyses de concours	96
Projets de concours	354
TOTAL	450

Visites industrielles..............................	Mémoire.
Préparation des examens..........................	44 jours.

En outre, pour les élèves ingénieurs :

Courses géologiques de 1re et de 3e année............	14 jours.
Voyage d'instruction de 3e année....................	100
Rédaction des mémoires de 3e année................	75

PROGRAMMES DES COURS

DE

L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES.

COURS SPÉCIAUX.

COURS D'EXPLOITATION DES MINES.

M. M. PELLÉ,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, PROFESSEUR.

I. — Recherche des gîtes. — Sondages.

1re LEÇON.

Notions sur la formation des terrains. — Terrains primitifs, terrains éruptifs, terrains sédimentaires.

Notions sur les différentes espèces de gisements.

Couches; allure; définitions; variations de richesse et d'allure. Exemples.

Filons; allure, remplissage; variations de richesse et d'allure. Exemples.

Amas; origine sédimentaire ou filonienne.

Passage des rejets. — Sens du mouvement. — Règle de Schmidt.

2e LEÇON.

Travaux de recherches. — Indications géologiques; exemples. — Indications minéralogiques, magnétiques. — Indications archéologiques. — Reprise d'anciennes exploitations.

Travaux d'exploration. — Travaux sur les affleurements; recherches en profondeur. — Exemples.

3ᵉ ET 4ᵉ LEÇONS.

Sondages. — Outils d'attaque et de curage. Carottes. Vérificateurs.

Tiges. — Rallonges; têtes de tiges. — Joint de la tige et de l'outil; appareils à coulisse ou à chute libre.

Engin extérieur et manœuvres. — Sortie et rentrée de la sonde. — Balancier, contrepoids; système Raky. — Chevalement; disposition générale.

Accidents. — Déviations; chute d'objets et rupture de tiges; éboulements.

Tubage. — Tuyaux provisoires et définitifs. — Enfoncement, réenfoncement, arrachage des tubes.

Résultats économiques. — Vitesse, exemples. — Organisation des sondages; prix de revient; exemples.

5ᵉ LEÇON.

Sondage à la corde. — Outils spéciaux; câble; engin extérieur. — Résultats.

Sondage au diamant. — Outils spéciaux. — Résultats. — Système Davis-Calyx.

Applications des sondages. — Recherches de gîtes. — Travaux dans les mines. — Exploitation du sel, du pétrole, du gaz naturel. — Puits artésiens.

II. — Aménagement général.

6ᵉ LEÇON.

Distinction entre les travaux de premier établissement, préparatoires et d'exploitation.

Aménagement par galeries en pays accidenté.

Aménagement par puits. — Position, nombre et champ d'exploitation des puits.

Division en étages, en sous-étages, en quartiers. — Travaux de traçage et de dépilage; gîtes minces; gîtes puissants.

Exploitation en descenderie.

7e LEÇON.

Emploi de la force motrice dans les mines.

Moteurs animés; mode d'emploi; rendement économique.

Moteurs mécaniques souterrains [1].

Moteurs à vapeur; conduites de vapeur; joints de dilatation.

Moteurs hydrauliques divers, avec ou sans échappement dans la mine. Conduites d'eau sous pression.

Moteurs à air comprimé; canalisation; prix de revient; rendement.

Moteurs électriques; canalisation; rendement. — Emploi de l'électricité dans les mines grisouteuses.

III. — Abatage des roches.

8e LEÇON.

Degrés de dureté.

Abatage à la pioche. — Outils d'attaque et de chargement. — Disposition des chantiers à ciel ouvert.

Abatage au pic. — Outils. — Travail du piqueur en galerie, en taille. — Organisation d'un chantier; rendement.

Emploi des coins. — Coins multiples; brise-roches. — Résultats.

---

[1] Renseignements sur les particularités que présente l'usage des différentes forces mécaniques dans les mines; on renvoie pour l'étude des moteurs aux Cours de machines et d'électricité.

Abatage à la pointerolle. — Outils.

Abatage au feu.

Abatage par l'eau. — Travail par affouillement; géants de Californie. — Travail par dissolution.

9ᵉ, 10ᵉ ET 11ᵉ LEÇONS.

Abatage par les explosifs. — Choix des explosifs à employer[1]; poudre noire, dynamite, dynamite-gomme, explosifs divers. — Explosifs employés dans les mines grisouteuses. — Emmagasinement des explosifs.

Emplacement des coups de mines. — Profondeur des trous et poids des charges.

Préparation d'un coup de mine. — Forage à la main; outils; mode de travail. — Chargement et bourrage.

Mise du feu. — Mèche de sûreté; amorçage. — Emploi de la mèche de sûreté dans les mines grisouteuses.

Amorces de friction.

Tirage par l'électricité. — Amorces de quantité et de tension. — Conducteurs. — Exploseurs.

Organisation du travail dans l'abatage par les explosifs.

Procédés mécaniques d'abatage.

Perforatrices à main agissant par rodage ou par percussion.

Perforatrices mécaniques. — Perforatrices rotatives. — Perforatrices percutantes; mouvements de percussion, de rotation et d'avancement. — Perforatrice Dubois-François; perforatrice Éclipse. — Injection d'eau. — Perforatrices percutantes électriques.

Affûts pour galeries et pour puits.

---

(1) Les propriétés générales et individuelles des explosifs sont décrites dans le Cours de chimie industrielle.

Résultats économiques de l'emploi des perforatrices. — Organisation du travail; prix de revient; exemples.

Haveuses mécaniques. — Excavateurs de galeries.

IV. — Galeries et puits.

12e LEÇON.

Généralités sur le soutènement. — Conditions dans lesquelles s'exerce la charge du toit. — Poussée des parois, de la sole.

Matériaux employés pour le soutènement. — Bois; essences; achat, conservation des bois. — Métaux. — Maçonnerie; matériaux; prix de revient.

Soutènement des tailles. — Buttes, rallonges, esclimbes.

13e LEÇON.

Percement et soutènement des galeries.

Boisage des galeries; types divers de cadres.

Soutènement métallique des galeries.

Muraillement des galeries.

Percement et soutènement des galeries en terrain ébouleux.

Percement des tunnels en terrain solide, en terrain ébouleux, en terrain boulant.

14e ET 15e LEÇONS.

Fonçage et revêtement des puits.

Forme et dimensions des puits. — Organisation d'un fonçage.

Fonçage des puits en terrain sec. — Boisage définitif ou provisoire. — Muraillement; retraites; mode d'exécution; prix de revient.

Agrandissement des puits. — Élargissement. — Approfondissement par réavalement, sous stot, par le procédé Lisbet; méthode montante.

Fonçage des puits en terrain aquifère. — Cuvelage en bois, en fonte, en maçonnerie; bétonnage; épaisseur des cuvelages.

Fonçage à niveau bas; organisation d'une avaleresse; exemples; prix de revient.

Procédé de la trousse coupante. — Procédé Triger.

Procédé Chaudron; descente du cuvelage; variantes.

Procédé Pœtsch; installation des tubes; réfrigération; fonçage; exemples.

V. — Roulage.

16e LEÇON.

Transports à ciel ouvert.

Brouette. — Tombereau. — Wagons. — Rendements économiques.

Câbles aériens. — Câble porteur mobile. — Câble porteur fixe, double ou unique; billon des ardoisières. — Monorails.

Transports souterrains.

Boutage à la pelle. — Couloirs. — Cheminées.

Portage à dos. — Traînage sur patins. — Brouette. — Chien de mine. — Navigation souterraine. — Rendements économiques.

17e ET 18e LEÇONS.

Chemins de fer de mines. — Rails; traverses. — Coût d'établissement. — Bifurcations.

Étude des résistances au roulement. — Traction en palier. — Résistance à la traction par tonne.

Influence des pentes. — Pente d'équilibre; pente d'égale résistance.

Influence des courbes. — Conicité des jantes; surécartement de la voie; roues calées ou folles.

Matériel roulant. — Roues et boîtes à graisse. — Caisse en bois ou en tôle. — Données numériques.

Organisation du roulage par hommes ou par chevaux; roulage circulaire. — Rendements. — Prix de revient.

Traction par moteurs mécaniques.

Locomotives souterraines.

Treuils de mines. — Traction mécanique par câble-tête et câble-queue; variantes. — Traction par chaîne traînante, par chaîne flottante. — Courbes, embranchements. — Résultats économiques.

19ᵉ LEÇON.

Plans inclinés automoteurs.

Plans à double et à simple effet. — Pentes; chariot porteur.

Poulies; conditions d'adhérence; poulies Fowler et Champigny. — Tambours.

Freins et régulateurs de vitesse.

Disposition des câbles pour recettes uniques ou multiples. — Rouleaux.

Disposition des recettes. — Manœuvres.

Plans bisautomoteurs.

VI. — EXTRACTION.

20ᵉ LEÇON.

Appareils d'extraction.

Câbles. — Composition des câbles ronds ou plats.

Câbles en chanvre, en aloès, en fer, en acier. — Poids, résistance, flexibilité, prix.

Section à donner aux câbles. — Câbles de section uniforme; câbles diminués en aloès, en acier.

Comparaison des câbles en aloès et en acier.

Entretien et surveillance des câbles. — Essais. — Durée.

21ᵉ LEÇON.

Bennes ou cuffats. — *Cages* guidées; types divers; dimensions et poids.

Guidages en bois, en fer, en câbles.

Parachutes à verrous, à pénétration, à friction.

Recette du jour. — Taquets. — Dispositions de la recette pour cages à plusieurs étages. — Fermeture. — Culbuteurs. — Rivages.

Accrochages souterrains. — Disposition des voies d'accès. — Planchers mobiles, taquets hydrauliques. — Accrochages à niveaux multiples. — Fermeture.

22e ET 23e LEÇONS.

Molettes. — *Chevalements,* types divers. — Évite-molettes.

Bobines. — *Tambours.* — Réglage des câbles.

Régularisation de l'extraction.

Chaînes de contrepoids. — Chariots de contrepoids. — Contre-câble d'équilibre; système Kœpe; variantes.

Régularisation par les bobines. — Discussion de l'équation exprimant les variations du moment résistant; solutions diverses; exemples.

Régularisation par les tambours. — Tambours coniques, spiraloïdes, cylindro-coniques; exemples.

24e ET 25e LEÇONS.

Machines d'extraction à vapeur[1]. — Caractères spéciaux de ces machines au point de vue des conditions de marche, de la puissance, de la condensation.

Disposition générale des machines d'extraction. — Machines horizontales, machines verticales.

Distribution. — Emploi de la détente dans les machines d'ex-

---

[1] Les moteurs à vapeur étant étudiés en détail dans le Cours de machines, on se borne ici à quelques observations pratiques relatives aux machines d'extraction; il en est de même pour les autres moteurs à vapeur dont il est question dans le Cours d'exploitation des mines.

traction. — Détente à la main. — Détente fixe automatique. — Détente variable par le régulateur, par le système Guinotte.

Signaux des machines d'extraction.

Frein. — Frein à sabots ou à bande. — Frein à contrepoids.

Calcul des dimensions des cylindres d'une machine d'extraction. — Consommation de vapeur; surface de chauffe des chaudières. — Prix de revient de l'extraction.

26e LEÇON.

Moyens divers d'extraction.

Moteurs hydrauliques. — Balance d'eau, roue hydraulique, machine à colonne d'eau.

Extraction sans câble. — Appareils oscillants. Extraction atmosphérique.

Extraction par moteurs animés. — Treuil à bras. Manège.

Appareils de descente des puits à remblais. — Régulateurs de vitesse. — Régularisation des efforts.

Translation du personnel. — Échelles. Cages. Fahrkunst.

VII. — Épuisement.

27e LEÇON.

Régime hydrologique souterrain.

Défenses extérieures. — Défenses intérieures; serrements; plates-cuves.

Captage des eaux; albraques.

Galeries d'écoulement; exemples.

Épuisement par cuves guidées; application aux fonçages de puits.

Épuisement par pompes. — Pompes aspirantes-élévatoires. — Pompes foulantes, verticales ou horizontales. — Organes des pompes; tuyaux; cloches d'air.

Pompe Rittinger.

28e LEÇON.

Machines d'épuisement à vapeur.

Moteurs souterrains à volant. — Rendement. — Exemples.

Moteurs souterrains sans volant. — Pompe Worthington; compensateur.

Moteurs extérieurs. — Maîtresses tiges en bois ou en fer. — Répétitions. — Allure. — Rendement.

Moteur extérieur à simple effet. — Montée de la tige; détente. — Descente de la tige; contrepoids. — Régénérateur Bochkoltz; balancier Rossigneux.

Moteur extérieur à double effet avec pompes à simple effet, ou avec pompes Rittinger. — Contrepoids. — Volant.

29e LEÇON.

Calcul de la pompe et de son moteur. — Dimensions des pompes, de la maîtresse tige; contrepoids; dimensions des cylindres du moteur; degré de détente. — Cas du moteur à double effet.

Pompes d'avaleresse. — Disposition générale. — Calcul du contrepoids et du moteur.

Moyens divers d'épuisement. — Pompes mues par l'air comprimé, par l'eau sous pression, par l'électricité. — Pulsomètres. — Éjecteurs.

VIII. — Aérage.

30e LEÇON.

Atmosphère des mines. — Température; augmentation avec la profondeur; exemples.

Composition de l'atmosphère des mines. — Oxygène. — Azote. Acide carbonique; dégagements instantanés. — Oxyde de carbone. — Gaz divers.

Grisou. — Composition. — Causes d'inflammation dans les mines.

Dégagement normal du grisou. — Pression dans la houille. — Influence du tonnage abattu, des vieux travaux, des variations barométriques.

Dégagements exceptionnels de grisou. — Soufflards. — Dégagements instantanés, mesures préventives.

31e LEÇON.

Ventilation des mines. — Volume d'air nécessaire.

Dépression; expression de la résistance au mouvement de l'air dans une mine. — Tempérament de la mine. — Orifice équivalent; relation entre l'orifice équivalent, le débit et la dépression. — Mesure de l'orifice équivalent.

Causes de l'aérage naturel; son influence dans une mine aérée mécaniquement. — Mesure de la dépression naturelle.

Ventilation sans machines. — Moyens de favoriser l'aérage naturel. — Foyers d'aérage; dispositions diverses; relation entre le débit et les températures de l'air.

32e ET 33e LEÇONS.

Ventilation mécanique.

Fermeture des puits d'aérage. — Comparaison des ventilateurs aspirants et soufflants. — Orifice de passage d'un ventilateur. — Ventilateurs accouplés.

Ventilateurs statiques. — Types Fabry, Lemielle. — Théorie des ventilateurs statiques; rendements.

Ventilateurs dynamiques. — Théorie de ces ventilateurs. — Rendement manométrique. — Rendement mécanique. — Influence sur ces rendements des changements de vitesse du ventilateur ou des variations de l'orifice équivalent.

Amortisseurs à disques ou à cheminée.

Ventilateurs à force centrifuge. — Types Guibal, Ser.

Ventilateurs hélicoïdes.

Ventilateurs hélico-centrifuges. — Type Rateau.

Ventilateur diamétral Mortier.

Données numériques.

34e LEÇON.

Établissement d'un projet de ventilateur dynamique. — Calcul de la vitesse et des dimensions principales. — Puissance du moteur.

Aménagement du courant d'air.

Portes; crossings. — Travaux en cul-de-sac; canars; galandages.

Principes généraux sur l'aménagement du courant.

Surveillance du grisou et de l'aérage. — Jaugeages anémométriques.

IX. — Méthodes d'exploitation.

35e LEÇON.

Choix de la méthode d'exploitation; classification.

Méthodes d'exploitation des filons.

Travaux préparatoires; épaisseur réduite; estimation de la valeur marchande du minerai d'un quartier.

Exploitation des filons minces par gradins droits ou renversés; organisation du travail; prix de revient.

Exploitation des filons puissants. — Méthode par gradins renversés. Méthode horizontale en long. Méthode horizontale en travers; application aux amas. Méthode d'Almaden.

36e LEÇON.

Méthodes d'exploitation des gîtes sédimentaires.

Exploitation par abandon de massifs.

Méthode des piliers tournés; rendement; exemples.

Méthode des piliers longs; exemples; wicket-system.

Méthode des chambres; ardoisières; chambres de dissolution du sel gemme.

Exploitations à plusieurs étages.

37e LEÇON.

Exploitation par foudroyage ; cas où elle s'applique.

Méthode des massifs longs. Traçage. Modes divers de dépilages. — Exemples; variantes.

Méthode des massifs courts. — Exemples.

Méthode du longwall. — Variantes.

Exploitation par foudroyage des couches puissantes; méthode par massifs longs; méthode inclinée; méthode horizontale.

38e LEÇON.

Exploitation par remblayage.

Nature des remblais. Carrières; chambres d'éboulement. Descente et mise en place des remblais. — Prix de revient.

Exploitation par remblayage des couches minces.

Méthode des tailles montantes. — Variantes. — Tailles en demi-pente.

Méthode des tailles chassantes. — Variantes. Maintenages. Rabatages.

39e ET 40e LEÇONS.

Exploitation par remblayage des couches puissantes; division en tranches; dangers d'inflammation spontanée dans les mines de houille.

Méthode des tranches inclinées; conditions dans lesquelles elle est applicable. — Exemples divers.

Méthode des tranches horizontales. — Aménagement d'un étage. — Exploitation d'une tranche; méthode en travers; méthode en long; exemples. — Exploitation simultanée de plusieurs tranches.

Méthode verticale. — Méthode par rabatages.

41e LEÇON.

Affaissements de la surface résultant de l'exploitation souterraine. — Direction et limite des affaissements; investisons. — Comparaison, à ce point de vue, des méthodes par remblayage, par foudroyage et par abandon de massifs.

Exploitation à ciel ouvert. — Aménagement général.

Exemples d'exploitations à ciel ouvert de houille, de minerais; ardoisières; tourbières.

X. — Services divers.

42e LEÇON.

Éclairage.

Éclairage à feu nu. — Éclairage par lampes de sûreté. — Transmission de la flamme à travers les treillis métalliques; danger des courants d'air; influence des éléments de la lampe. — Pouvoir éclairant.

Lampes Davy, Boty, Mueseler, Marsaut, Fumat. — Fermeture des lampes.

Lampes électriques portatives.

Lampisterie. — Postes de rallumage au fond.

Emploi de la lampe de sûreté comme indicateur de grisou. — Auréoles. — Lampes Pieler, Chesneau.

Accidents de mines. — Données statistiques.

Inflammation des poussières. — Mesures préventives.

Incendies. — Lutte contre le feu.

Appareils servant à pénétrer dans les milieux irrespirables.

43e LEÇON.

Organisation du travail dans les mines. — Sociétés minières.

Service technique. — Ingénieurs. — Maîtres mineurs et po-

rions. — Rôle, attributions; comptes rendus journaliers. — Géomètres.

Ouvriers. — Catégories diverses. — Recrutement. — Modes divers d'établissement des salaires; leur influence sur le rendement.

Service commercial.

44e LEÇON.

Services administratifs et financiers.

Service de la caisse.

Service du magasin et des approvisionnements. — Bons, registre de magasin.

Service de la comptabilité. — Dépenses de main-d'œuvre; dépenses du magasin; dépenses de l'atelier.

Compte de premier établissement. — Inventaire.

Compte d'exploitation; sa division en chapitres. — Amortissement. — Frais généraux. — Comptes spéciaux.

Établissement du prix de revient général. — Évaluations partielles par siège d'exploitation.

Exemples de prix de revient de mines de houille et de mines métalliques.

XI. — PRÉPARATION MÉCANIQUE.

45e LEÇON.

Préparation mécanique des minerais métalliques.

Généralités; ordre des opérations. — Disposition générale de l'atelier; transporteurs.

Débourbage. — Concassage.

Triage à la main et scheidage.

Broyage; cylindres, bocards, meules, désintégrateurs. — Données numériques.

46e LEÇON.

Classement de grosseur. — Grilles, tôles perforées.

Trommels simples. — Trommels successifs. — Trommels concentriques ou étagés. — Données numériques.

Enrichissement par criblage à la cuve. — Théorie de l'équivalence; classement préalable par grosseurs.

47° LEÇON.

Appareils pour le criblage à la cuve.

Appareils à eau stagnante; jig.

Appareils à tamis fixe; action de l'eau en mouvement sur des grains en repos. — Cribles continus à un ou plusieurs compartiments. — Cribles filtrants du Hartz. — Données numériques.

Appareils à courant ascendant continu; leur emploi pour le classement par grosseurs.

Spitzkasten. — Labyrinthes.

48° LEÇON.

Lavage sur les tables.

Caisson allemand. — Roundbuddle. — Table tournante. — Table de Linkenbach.

Tables à secousses. — Table de Rittinger.

Tables à toile sans fin.

Classement par le vent.

Enrichissement magnétique.

Lavage des minerais d'or d'alluvion. — Batée. — Berceau. — — Sluice.

Choix des appareils de classement et d'enrichissement suivant la grosseur des grains à traiter.

Installation d'un atelier de préparation mécanique.

Données économiques.

49° LEÇON.

Préparation mécanique des charbons.

Classification des sortes marchandes.

Criblage, triage à la main, broyage des charbons.

Lavoirs à eau stagnante.

Lavoirs à piston. — Lavoirs continus. — Lavoirs à feldspath. Lavoir Elliott.

Installation d'un atelier de triage et de lavage des charbons.— Trémies d'égouttage; clarification des eaux.

Données économiques. — Rendement.

COURS DE MÉTALLURGIE.

M. LODIN,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, PROFESSEUR.

PREMIÈRE ANNÉE.

1re LEÇON.

Définition de la métallurgie.

Métallurgie générale. — Étude : 1° des agents métallurgiques; 2° des procédés; 3° des appareils.

Délimitation de la chimie et de la métallurgie. — Rôle joué par l'ouvrier en métallurgie.

Questions économiques. — Établissement des prix de revient. — Frais de premier établissement. — Amortissement. — Frais spéciaux. — Frais généraux. — Fonds de roulement.

Voie sèche. — Voie humide. — Électro-métallurgie.

Définition de divers termes usuels. — Trempe. — Liquation. — Cristallisation. — Calcination. — Carbonisation. — Fusion. — Fonte crue. — Distillation. — Sublimation. — Cémentation. — Grillage. — Rôtissage. — Affinage. — Raffinage.

2e LEÇON.

Notions générales sur les minerais. — Prises d'essai.

Laitiers et scories. — Fusibilité des silicates. — Emploi des fondants.

Notions générales sur les combustibles.

Bois. — Propriétés physiques et chimiques. — Cendres de bois. — Indications sommaires sur la production du bois.

3ᵉ LEÇON.

Tourbes de diverses catégories. — Bois fossiles. — Lignites secs et lignites gras. — Houilles sèches, grasses, maigres. — Anthracite. — Graphite. — Cannel coal. — Pétroles.

Propriétés de ces divers combustibles.

4ᵉ ET 5ᵉ LEÇONS.

Préparation physique des combustibles. — Concassage.

Préparation mécanique des tourbes.

Indications sommaires sur le triage et le lavage des houilles.

Altération des menus de houille à l'air. — Avantages de l'agglomération.

Matières agglomérantes. — Chauffage et malaxage des pâtes. — Classification des machines à comprimer les agglomérés.

Description des principaux types de ces machines.

Frais d'agglomération.

Dessiccation du bois et de la tourbe.

6ᵉ LEÇON.

Fabrication du charbon de bois en meules ou en tas allongés.

Description et théorie de l'opération.

Tentatives faites pour perfectionner la carbonisation.

Rendement et frais de l'opération.

7ᵉ ET 8ᵉ LEÇONS.

Carbonisation de la tourbe.

Carbonisation de la houille en tas, en cases ou en fours à parois pleines.

Fours à parois chauffées. — Fours plats, fours belges, fours Appolt, Bauer, Lürmann, etc.

Propriétés du coke. — Frais de carbonisation.

9e ET 10e LEÇONS.

Matériaux réfractaires naturels.

Produits réfractaires artificiels; leur classification.

Argiles réfractaires : leurs propriétés. — Préparation des pâtes. — Moulage. — Séchage. — Cuisson.

Organisation d'une fabrication de produits réfractaires. — Frais de fabrication.

Briques de silice.

Produits réfractaires basiques.

11e LEÇON.

Combustion en général. — Pouvoir calorifique des corps simples et des composés employés en métallurgie.

Combustion des gaz. — Point d'inflammation. — Température de combustion.

Conditions pratiques de la combustion. — Vitesse de propagation de l'inflammation. — Formes et proportions des flammes. — Influence du mélange préalable. — Chambres de combustion.

Combustion des liquides. — Appareils servant à l'opérer.

12e LEÇON.

Combustion des solides. — Chauffes à grilles. — Types principaux de fourneaux avec chauffes à grilles. — Fours à vent. — Réverbères. — Fours à dôme et fours de galère. — Types divers de grilles.

13e LEÇON.

Fours à cuve, à grilles ou à tuyères. — Zones de combustion.

— Notions générales sur les échanges de chaleur dans les fours à cuve.

Détermination du profil intérieur des fours à cuve.

14ᵉ LEÇON.

Gazéification. — Production du gaz à l'air et du gaz à l'eau. — Gaz de distillation.

Types divers de gazogènes à grille.

Gazogènes à tuyères. — Gazogènes distillateurs.

15ᵉ LEÇON.

Influence du chauffage préalable de l'air destiné à la combustion des gaz. — Fours Boetius et Bicheroux. — Récupérateurs tubulaires. — Régénérateurs Siemens. — Four Biedermann-Harvey.

16ᵉ ET 17ᵉ LEÇONS.

Principes généraux de la construction des fours.

Revêtement intérieur et extérieur.

Emploi des armatures métalliques et de la réfrigération systématique.

Cheminées.

Machines soufflantes diverses : 1° appareils à entraînement (trompes, injecteurs); 2° ventilateurs à force centrifuge; 3° ventilateurs rotatifs; 4° machines soufflantes à mouvement alternatif. — Emploi de ces diverses machines en métallurgie.

Conduites et régulateurs de vent.

Indications sommaires sur les appareils de manutention employés en métallugie.

FER.

18ᵉ LEÇON.

Minerais de fer. — Leurs propriétés. — Influence des corps étrangers qu'ils peuvent contenir.

19e LEÇON.

Préparation des minerais de fer. — Concassage et débourbage. — Calcination ou grillage en tas, en cases ou en fours.

20e ET 21e LEÇONS.

Propriétés chimiques du fer.

Combinaisons du fer avec le carbone, le silicium, le phosphore, le soufre, le manganèse, le chrome, le cuivre, etc.

Composés ternaires ou multiples.

Oxydation du fer. — Réduction des oxydes de fer. — Dédoublement de l'oxyde de carbone en présence de ces oxydes.

22e LEÇON.

Principes généraux de la métallurgie du fer. — Méthode directe et méthode indirecte.

Procédés de production directe. — Forge catalane. — Stückofen. — Procédés Chenot, Siemens, Eames, etc.

23e LEÇON.

Hauts fourneaux. — Leur origine et leur développement progressif. — Réactions principales qui se produisent à leur intérieur. — Mode de descente des charges.

Détermination du profil à adopter pour les hauts fourneaux.

24e, 25e ET 26e LEÇONS.

Dispositions générales des hauts fourneaux. — Types anciens, à massifs extérieurs volumineux. — Types à enveloppe extérieure réduite. — Types sans revêtement extérieur.

Fondations. — Construction du massif intérieur. — Accessoires de l'ouvrage, tuyères à eau et à laitiers, tympes à eau, etc.

Fermetures diverses du gueulard. — Prises de gaz. — Conduites de gaz. — Condensation des poussières, etc.

Types divers de monte-charges.

Souffleries et régulateurs.

Chauffage du vent. — Appareils en fonte de divers types.

Appareils en terre réfractaire (Cowper, Whitwell, etc.).

Conduites de vent.

Buses. — Manomètres et pyromètres, etc.

27e LEÇON.

Mise à feu d'un haut fourneau. — Travail normal. — Coulée de la fonte. — Enlèvement du laitier. — Utilisation de ce produit.

28e LEÇON.

Allures diverses du haut fourneau. — Corrélation entre l'allure et la nature de la fonte produite. — Influence de la fusibilité des laitiers sur l'allure. — Réglage de la composition des lits de fusion.

29e LEÇON.

Dérangements d'allure. — Leurs symptômes. — Moyens d'y remédier.

Accidents. — Suspension de travail.

Mise hors feu.

Exemples de marches réelles de fourneaux.

30e LEÇON.

Études des phénomènes thermiques qui se produisent dans les hauts fourneaux.

Fabrication des fontes spéciales. — Emploi de la houille crue ou de l'anthracite.

Choix de l'emplacement des usines à fonte. — Dispositions de ces usines. — Frais de fabrication de la fonte.

31ᵉ LEÇON.

Fonderie. — Travail en première ou en deuxième fusion. — Emploi du réverbère et du cubilot pour refondre la fonte.

Réactions chimiques de la deuxième fusion.

Procédés de moulage. — Emploi du sable vert, du sable étuvé, de la terre. — Moulage en coquille.

Matériel des fonderies. — Exemples de moulages divers.

Frais du travail de moulage.

32ᵉ LEÇON.

Affinage de la fonte à l'état solide.

Fonte malléable. — Réactions de la cémentation oxydante. — Pratique de cette opération.

Principes généraux de l'affinage de la fonte à l'état fluide.

Affinage au bas foyer. — Procédé comtois. — Description du procédé. — Réactions qui s'y produisent.

Variantes diverses de l'affinage au bas foyer. — Mazéage préalable.

Frais de l'affinage au bas foyer. — Comparaison avec la méthode catalane.

Tentatives diverses faites pour améliorer les conditions du travail.

33ᵉ, 34ᵉ ET 35ᵉ LEÇONS.

Mazéage au coke, au bas foyer ou sur sole. — Réactions. — Frais de l'opération.

Puddlage. — Ses origines. — Puddlage sec et puddlage bouillant.

Réactions dans l'une ou l'autre variante.

Travail mécanique des loupes. — Cinglage. — Laminage des barres brutes. — Description et étude des appareils employés dans ces deux opérations.

Résultats économiques du puddlage ordinaire.

Choix des fontes destinées au puddlage. — Additions diverses au cours de l'opération.

Perfectionnements apportés au four à puddler et aux appareils de cinglage et d'étirage.

Puddlage mécanique.

Fabrication de l'acier soit au bas foyer, soit au four à puddler. — Modifications à apporter aux appareils et à la conduite du travail. — Triage des barres et corroyage.

36e LEÇON.

Cémentation du fer. — Théorie de cette opération.

Fusion de l'acier au creuset. — Détails du travail. — Réactions qui s'y produisent. — Additions diverses.

Frais de la cémentation et de la fusion au creuset.

37e, 38e, 39e ET 40e LEÇONS.

Affinage à l'état liquide.

Procédé Martin-Siemens. — Emploi des riblons avec affinage partiel. — Affinage par additions de minerai. — Difficultés d'application de ce procédé sur sole acide.

Construction du four Martin-Siemens. — Préparation des soles acides et des soles basiques. — Dispositions de coulée. — Marche du travail et réactions dans les deux variantes. — Frais de production des lingots.

Procédé Bessemer. — Ses origines. — Souffleries Bessemer. —

Convertisseurs. — Leurs dimensionss et leur disposition. — Installations de coulée.

Revêtements acides et revêtements basiques.

Conduite du travail. — Variantes du procédé acide et du procédé basique. — Réactions de l'opération.

Dispositions générales des ateliers Martin-Siemens et Bessemer.

Élaboration mécanique du fer et de l'acier.

Frais de production des lingots.

41e, 42e, 43e ET 44e LEÇONS.

Fabrication du fer en barres. — Cisaillage et paquetage du fer brut. — Réchauffage. — Laminage. — Frais de la fabrication du fer en barres.

Fabrication des fers profilés. — Principes du profilage au laminoir. — Exemples divers. — Emploi du laminoir universel.

Tôles et larges plats. — Détails de leur fabrication.

Plaques de blindage.

Fabrication des rails en fer soudé.

Travail des lingots d'acier. — Défauts que peuvent présenter ces lingots. — Procédés divers pour éviter la production de ces défauts.

Structure intérieure des métaux fondus ou soudés. — Influence du travail mécanique et de la trempe sur le grain et sur les propriétés du métal.

Laminage des rails en métal fondu.

Fours divers de réchauffage des lingots. — Soaking pits. — Dégrossissage au laminoir réversible ou au trio américain. — Profilage.

Trains-machine.

Fabrication des bandages, des essieux, des ressorts, etc.

Conditions économiques générales de la fabrication du fer et de l'acier.

Statistique.

DEUXIÈME ANNÉE.

1re, 2e, 3e ET 4e LEÇONS.

Grillage des minerais sulfurés.

Travail en tas, en cases, en kilns, au réverbère.

Absorption ou utilisation de l'acide sulfureux dégagé.

Fours à tablettes.

Systèmes d'agitation ou de râblage mécanique. — Fours à chute libre ou à chute ralentie.

Condensation des poussières et des fumées.

CUIVRE.

5e LEÇON.

Propriétés du cuivre. — Ses combinaisons avec divers métalloïdes. — Alliages du cuivre.

Minerais de cuivre. — Cuivre natif. — Minerais oxydés, sulfurés, arsénicaux, antimoniaux, etc.

6e LEÇON.

Principes généraux de la métallurgie du cuivre.

Traitement des minerais natifs. — Exemple du Lac supérieur.

Traitement des minerais oxydés au four à cuve. — Ancienne formule de Chessy. — Fours de l'Arizona.

7e LEÇON.

Traitement des minerais sulfurés purs. — Ancienne méthode suédoise. — Traitement des minerais zincifères.

8ᵉ ET 9ᵉ LEÇONS.

Méthode anglaise, avec ses diverses variantes. — Séparation des métaux précieux, du nickel et du cobalt. — Conditions d'emploi du réverbère aux États-Unis.

10ᵉ LEÇON.

Méthodes mixtes. — Traitement de minerais impurs. — Formules du Mansfeld, du Harz. — Traitement de l'énargite.

11ᵉ ET 12ᵉ LEÇONS.

Traitement au water-jacket. — Affinage des mattes au convertisseur. — Affinage du cuivre brut au four Siemens.

13ᵉ LEÇON.

Traitement des minerais de cuivre par voie humide.

14ᵉ LEÇON.

Production du cuivre électrolytique.

Installation des usines à cuivre.

PLOMB

15ᵉ LEÇON.

Propriétés du plomb et de ses alliages. — Minerais de plomb.

Principes généraux du traitement des minerais de plomb.

16ᵉ LEÇON.

Traitement des minerais au bas foyer. — Foyer écossais, à parois pleines. — Foyer américain, à circulation d'air ou d'eau. — Appareil Moffat.

Principes de formule de traitement de réverbère, par grillage et réaction.

17[e] ET 18[e] LEÇONS.

Variantes diverses du traitement par grillage et réaction.

Ancienne méthode de traitement par grillage et fonte réductive, sans addition de matières ferrugineuses.

19[e] LEÇON.

Fonte de précipitation. — Procédé viennois. — Traitement du Harz. — Traitement du Cornwall.

20[e] ET 21[e] LEÇONS.

Traitements mixtes, comportant un grillage dans des réverbères de grandes dimensions, et une réduction au four à cuve, avec addition de ferraille.

Variantes européennes et américaines. — Emploi de water-jackets à section soit circulaire (Europe), soit rectangulaire (États-Unis).

22[e] LEÇON.

Liquation. — Affinage des plombs bruts.

Installation des usines à plomb. — Condensation des fumées.

ARGENT.

23[e] LEÇON.

Propriétés de l'argent et de ses alliages.

Minerais d'argent.

Extraction de l'argent par fonte plombeuse. — Désargentation des mattes par imbibition et des cuivres par liquation.

24[e] LEÇON.

Coupellation. — Méthode allemande et méthode anglaise. — Revivification des litharges.

25[e] LEÇON.

Pattinsonage. — Principes de la méthode. — Travail en batte-

rie ou par chaudières conjuguées. — Pattinsonage mécanique ou à la vapeur.

26e LEÇON.

Désargentation du plomb au moyen du zinc.

Épuration du plomb zingueux. — Traitement des crasses riches.

Électrolyse du plomb d'œuvre.

Frais de désargentation.

27e LEÇON.

Traitement des minerais par amalgamation. — Procédé du *patio*.

28e LEÇON.

Amalgamation chilienne. — Procédé du *cazo*. — Amalgamation saxonne.

29e LEÇON.

Amalgamation dans les *pans*. — Variantes diverses. — Amalgamation des mattes, des speiss et des cuivres noirs.

30e LEÇON.

Extraction de l'argent des mattes par les procédés Augustin et Ziervogel, des mattes ou des cuivres noirs par l'acide sulfurique. — Traitements divers par voie humide. — Emploi des hyposulfites.

OR ET PLATINE.

31e ET 32e LEÇONS.

Propriétés de l'or. — Ses minerais. — Extraction de l'or des minerais natifs. — Traitement des minerais pyriteux.

Traitement au cyanure.

Chloruration.

Séparation des métaux précieux par affinage.

Minerais de platine. — Métallurgie ancienne du platine. — Méthode de Deville et méthodes dérivées.

ÉTAIN.

33e LEÇON.

Propriétés de l'étain. — Minerais de ce métal. — Nécessité d'une préparation mécanique très complète. — Séparation du tungstène. — Traitement des minerais d'étain au four à cuve et au réverbère. — Raffinage de l'étain brut.

ANTIMOINE.

34e LEÇON.

Propriétés. — Minerais. — Fabrication du sulfure d'antimoine fondu. — Fabrication de l'antimoine métallique. — Fonte de précipitation. — Grillage et fonte réductive. — Frais de traitement.

BISMUTH.

Extraction du bismuth des minerais ou des fonds de coupelle.

NICKEL ET COBALT.

35e LEÇON.

Minerais de nickel et de cobalt.

Anciennes méthodes de traitement, appliquées aux minerais mixtes des deux métaux.

Traitement des minerais oxydés du nickel. — Essais de réduction directe. — Concentration du nickel dans une matte. — Grillage de cette matte. — Réduction de l'oxyde de nickel.

Traitement des minerais cupro-nickélifères du Canada. — Séparation du cuivre et du nickel.

Traitement des minerais oxydés de cobalt.

ZINC.

36e LEÇON.

Propriétés du zinc. — Minerais de zinc. — Principes généraux de la métallurgie du zinc.

Calcination des calamines.

Grillage des blendes avec ou sans utilisation du soufre contenu.

37e LEÇON.

Méthode de distillation *per descensum*. — Anciennes méthodes anglaise et carinthienne.

Méthode silésienne primitive.

Méthode belge primitive. — Comparaison des frais et des résultats obtenus dans les méthodes types.

38e ET 39e LEÇONS.

Fours silésiens transformés. — Fours à chauffes gazogènes. — Fours à empilages Siemens.

Fours belges à chauffes gazogènes. — Type à une seule devanture (fours Dor, fours de Corphalie, etc. — Type à double devanture (Ougrée, Auby, Engis, etc.).

Essais d'adaptation de la disposition Siemens.

Fours rhénans. — Type à chauffage direct. — Type à récupérateurs. — Type à régénérateurs.

40e LEÇON.

Utilisation des poussières de zinc.

Fabrication mécanique des creusets à zinc.

Essais d'extraction du zinc au four à cuve. — Procédé Wheterill.

Fabrication du blanc de zinc.

Essais d'extraction du zinc par électrolyse.

Raffinage et laminage du zinc.

Considérations économiques et statistiques sur la production de ce métal.

41e ET 42e LEÇONS.

MERCURE.

Propriétés du mercure. — Ses minerais.

Traitement des minerais riches en vases clos.

Grillage du sulfure. — Four Bustamante. — Fours à cuve pour minerais en morceaux. — Traitement des menus : 1° au réverbère (Idria); 2° dans des fours à chute ralentie (fours Scot et Hutner, Livermore, fours Schüttöfen d'Idria, etc.). — Principes rationnels de la condensation des vapeurs mercurielles. — Dispositions adoptées à Idria.

ALUMINIUM

Méthode de Deville.

Procédés électriques.

COURS DE CHIMIE ANALYTIQUE[1].

M. AD. CARNOT,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES, MEMBRE DE L'INSTITUT, PROFESSEUR, DIRECTEUR DES LABORATOIRES ET DU BUREAU D'ESSAI.

PREMIÈRE ANNÉE.

1re ET 2e LEÇONS.

Objet du cours. Analyse qualitative et analyse quantitative.

Recherches qualitatives.

Recherches par la voie sèche : essais au chalumeau; essais à la lampe à gaz; essais au spectroscope.

Essais microchimiques.

Recherches par la voie humide; indications générales.

3e, 4e ET 5e LEÇONS.

Analyse quantitative.

Opérations préliminaires. Choix de l'échantillon.

Triage pour analyses minéralogiques. Prise d'essai moyenne pour analyses industrielles. Pulvérisation. Dessiccation.

Pesée. Balances de précision.

Opérations de la voie sèche. — Production de températures élevées. Calcination dans l'air ou à l'abri de l'air, dans des gaz inertes

---

[1] Le cours se fait en deux années. L'enseignement est complété par des exercices pratiques d'analyse minérale, auxquels prennent part tous les élèves titulaires de l'École des mines pendant les trois années d'études techniques.

ou actifs. Fusion; vases, fondants. Distillation. Oxydation. Réduction. Sulfuration. Chloruration.

Opérations de la voie humide. — Dissolution avec ou sans désagrégation préliminaire. Évaporation. Distillation. Précipitation. Décantation. Filtration. Lavage des précipités. Dessiccation. Calcination. Pesée.

Électrolyse; principes généraux.

Procédés volumétriques ou par liqueurs titrées; principes généraux. Méthodes par saturation, par oxydation ou réduction, par précipitation.

Analyse des gaz.

6ᵉ ET 7ᵉ LEÇONS.

MÉTALLOÏDES.

Hydrogène.

Préparation et emploi de l'hydrogène pur et sec comme agent de réduction dans les analyses.

Dosage de l'hydrogène en volume au moyen de l'eudiomètre; dosage en poids après combustion.

Oxygène.

Préparation et emploi dans les analyses.

Caractères, recherche et dosage. Oxygène libre dans un mélange gazeux. Oxygène en dissolution dans l'eau; extraction, dosage par réactifs titrés. Oxygène combiné dans les oxydes et dans les corps dissous.

Ozone. Caractères. Dosage dans l'air.

Eau. Emploi de l'eau pure et de la vapeur d'eau. Dosage de l'eau contenue dans les minerais, dans les acides, les bases, les sels.

Eau oxygénée. Préparation et emploi. Dosage de l'oxygène actif dans l'eau oxygénée.

8e, 9e ET 10e LEÇONS.

Azote.

Préparation et emploi de l'azote pur.

Ammoniaque. Son emploi comme réactif. Caractères. Dosage par les méthodes pondérale, volumétrique et colorimétrique.

Acide azotique. Son emploi comme réactif. Caractères des azotates. Recherche, dosage par précipitation et par transformation en bioxyde d'azote ou en ammoniaque.

Acide azoteux. Recherche. Dosage volumétrique et colorimétrique.

Dosage de l'azote dans les matières organiques, soit à l'état de gaz libre, soit à l'état d'ammoniaque, par différentes méthodes.

Argon. Hélium. — Recherche dans l'air et dans les gaz des sources minérales.

11e, 12e ET 13e LEÇONS.

Carbone.

Distinction et analyse immédiate des différentes variétés de carbone.

Acide carbonique. Dosage dans un mélange gazeux, dans une eau, dans un minéral ou un minerai.

Oxyde de carbone. Caractères, dosage dans un mélange gazeux.

Acide oxalique. Caractères, méthodes de dosage.

Carbures d'hydrogène : méthane, éthylène, acétylène; pétroles; ozokérite; schistes bitumineux; asphalte.

Combustibles minéraux solides; opérations à effectuer suivant l'emploi à prévoir. Dessiccation, distillation, calcination, incinération; analyse des cendres. Dosage du soufre dans une houille.

Analyse élémentaire d'une houille.

Détermination du pouvoir calorifique par la bombe ou l'obus calorimétrique. Calcul d'après les matières fixes et volatiles.

14e ET 15e LEÇONS.

Chlore.

Préparation et emploi du chlore dans les analyses.

Acide chlorhydrique. Emploi du gaz et de la dissolution.

Chlorures; caractères, recherche qualitative; dosage pondéral et volumétrique. Dosage du chlore libre.

Acide hypochloreux; chlorures décolorants. Essai par divers procédés volumétriques. Méthode gazométrique.

Acide chlorique, chlorates. Perchlorates. Examen de mélanges de chlorures, hypochlorites, chlorates, perchlorates.

Brome.

Propriétés, emploi, caractères des bromures; recherche et dosage en présence des chlorures. Hypobromites, bromates; dosage des bromates et bromures.

Iode.

Propriétés. Emploi de l'iode en liqueurs titrées.

Acide iodhydrique. Caractère des iodures. Dosage pondéral et volumétrique. Séparation de l'iode et du chlore, de l'iode, du brome et du chlore.

Acide iodique, acide periodique; dosage des iodures et iodates.

16e LEÇON.

Fluor.

Propriétés. Acide fluorhydrique, fluorures; caractères.

Fluorure de silicium, acide fluosilicique. Procédés de dosage du fluor dans l'acide fluorhydrique, dans les fluorures solubles et insolubles, dans tous les composés attaquables par l'acide sulfurique, seuls ou mêlés de silicates.

17e, 18e ET 19e LEÇONS.

Soufre.

Soufre libre; caractères. Dosage dans les minerais de soufre natif. Examen du soufre brut et du soufre raffiné.

Hydrogène sulfuré; son emploi. Sulfure d'ammonium, sulfure de sodium; leur emploi. Caractères des sulfures.

Acide sulfurique. Caractères des sulfates. Dosage de l'acide sulfurique libre; dosage dans les sulfates solubles et insolubles.

Acide sulfureux, son emploi. Caractères des sulfites.

Acide hyposulfureux et hyposulfites. Caractères. Dosage.

Dosage par les liqueurs titrées de l'acide sulfhydrique, des monosulfures, sulfites, hyposulfites. Mélanges de ces sels.

Dosage du soufre dans les sulfures facilement ou difficilement attaquables; emploi de différents procédés suivant la nature des métaux; voie humide et voie sèche.

Essai industriel des pyrites pour soufre.

20e ET 21e LEÇONS.

Phosphore.

Composés du phosphore, phosphures, phosphates. Caractères. Recherche. Méthodes diverses pour le dosage pondéral et le dosage volumétrique de l'acide phosphorique. Détermination de très petites quantités de phosphore dans les aciers, les terres, les roches. Méthodes de séparation de l'acide phosphorique.

Phosphates de chaux : os modernes, os fossiles, apatites, phosphorites, phosphates sédimentaires. Dosage du phosphore et du fluor; analyse complète. Essai industriel des phosphates naturels et des superphosphates.

22e LEÇON.

Arsenic.

Propriétés; recherche qualitative. Arsénites et arséniates. Diverses méthodes de dosage pondéral et séparations. Recherche de très petites quantités d'arsenic. Procédés de dosage volumétrique.

Minéraux. Analyse des sulfures d'arsenic et du mispickel.

23e LEÇON.

Bore.

Acide borique, borates; fluorure de bore et fluoborates. Re-

cherche qualitative de l'acide borique. Méthodes de dosage pondéral et de dosage volumétrique.

Minéraux : borates de soude, borates de chaux.

24ᵉ ET 25ᵉ LEÇONS.

Silicium.

Variétés de silice anhydre et hydratée, propriétés.

Silicates; actions de la chaleur, de l'eau, des acides, des alcalis. Modes de dosage de la silice.

Analyse des silicates. Dosage de l'eau. Attaque directe par les divers acides, à l'air libre ou sous pression; attaque par les sulfates acides ou neutres. Désagrégation par les carbonates alcalins, les alcalis, les oxydes fusibles, le carbonate de chaux; emploi de l'acide fluorhydrique, du fluorure d'ammonium. Emploi du carbonate de chaux avec sel ammoniac pour la recherche des alcalis.

Silicates renfermant des chlorures, sulfures, sulfates, phosphates, borates. Analyse.

26ᵉ LEÇON.

Sélénium.

Caractères. Acide sélénieux. Acide sélénique.

Dosage dans les sélénites et les séléniates.

Séparation du sélénium et du soufre. Minéraux.

Tellure.

Caractères. Acide tellureux. Acide tellurique.

Dosage dans les tellurites et les tellurates.

Séparation du tellure, du sélénium et du soufre. Minéraux.

Germanium.

Caractères. Dosage et séparation. Minéraux.

27ᵉ LEÇON.

Vanadium.

Propriétés des principaux composés du vanadium. Sels formés

par les acides vanadique et hypovanadique. Caractères, méthodes de dosage et de séparation.

Dosage volumétrique. Recherche dans les argiles et les minerais de fer. Minéraux.

28e LEÇON.

Molybdène.

Principaux composés : oxyde de molybdène, acide molybdique. Sels de molybdène, molybdates, permolybdates, phosphomolybdates. Emplois analytiques du molybdate d'ammoniaque.

Recherche et dosage du molybdène par méthodes pondérales et volumétriques. Séparations.

Minéraux; analyse de la molybdénite.

29e LEÇON.

Tungstène.

Propriétés. Principaux composés du tungstène.

Caractères des tungstates, borotungstates, silicotungstates. Recherche qualitative, dosage et séparation de l'acide tungstique.

Minéraux; analyse de la schéelite et du wolfram.

30e LEÇON.

Titane.

Composés oxygénés. Caractères des titanates.

Dosage pondéral de l'acide titanique seul ou en présence de silice. Dosage volumétrique; cas de la présence du fer.

Minéraux. Analyse du sphène, du rutile, des fers titanés; détermination de l'acide titanique dans les basaltes et dans les minerais de fer, en présence de l'acide phosphorique.

Tantale et *Niobium.*

Principaux composés; caractères pour les distinguer. Analyse des tantalites, columbites, etc.

31e, 32e ET 33e LEÇONS.

MÉTAUX ALCALINS.

Potassium.

Caractères des sels de potassium. Recherche qualitative. Méthodes de dosage pondéral.

Dosage volumétrique.

Minéraux et sels du potassium. Analyse de la carnallite, de la kaïnite. Nitrate et chlorure de potassium du commerce.

Rubidium, Cœsium.

Caractères utilisés pour la recherche, le dosage et la séparation de ces métaux.

Sodium.

Caractères des sels de sodium. Recherche qualitative.

Méthodes de dosage pondéral. Séparation du potassium et du sodium : méthodes pondérales et volumétriques. Calcul des deux métaux dans un mélange de leurs sels.

Minéraux. Analyse du chlorure de sodium naturel, de la nitratine, etc.

Lithium.

Caractères. Recherche et appréciation par le spectroscope. Méthodes de dosage et de séparation. Détermination de la lithine dans les eaux minérales.

34e, 35e ET 36e LEÇONS.

MÉTAUX ALCALINO-TERREUX.

Baryum.

Caractères des sels de baryum. Recherche et dosage du baryum.

Minéraux. Analyse de la barytine et de la withérite.

Strontium.

Caractères des sels. Recherche, dosage. Séparation de la strontiane et de la baryte. — Minéraux. Analyse de la strontianite.

Calcium.

Caractères des sels de calcium ; recherche qualitative. Dosage pondéral de la chaux dans différents cas. Réparations. Dosage volumétrique.

Minéraux. Analyse des calcaires, suivant leur destination ; examen des chaux grasses ou hydrauliques. Essai et analyse du gypse. Analyse du spath fluor.

Magnésium.

Caractères des sels de magnésium. Dosage pondéral. Dosage volumétrique. Séparations.

Minéraux. Analyse de la kiésérite, de la dolomie, de la magnésite.

37e ET 38e LEÇONS.

MÉTAUX TERREUX.

Aluminium.

Propriétés. Alumine hydratée et calcinée. Caractères des sels d'aluminium. Dosage et séparation de l'alumine des acides, des alcalis, des terres alcalines.

Minéraux et produits d'arts : examen de l'émeri, de la bauxite, des schistes alumineux; analyse de la cryolite, des feldspaths, des argiles et kaolins; analyse de l'aluminium, de l'alun d'ammoniaque et de l'alun de potasse.

Glucinium.

Caractères des sels de glucinium. Dosage. Méthodes de séparation de l'alumine et de la glucine.

Minéraux : analyse de l'émeraude.

Gallium.

Caractères des sels. Séparations. Recherche du gallium dans une blende.

39e LEÇON.

Zirconium.

Caractères des sels. Dosages de la zircone. Analyse du zircon.

Thorium.

Caractères des sels. Dosage de la thorine. Analyse de l'orangite ou de la thorite.

GROUPE CÉRIQUE.

Cérium.

Oxydes de cérium, caractères des sels. Séparations.

Lanthane, Didyme (Néodyme, Praséodyme).

Samarium, Décipium, Gadolinium.

GROUPE YTTRIQUE.

Yttrium.

Caractères des sels ; dosage de l'yttria ; séparations.

Terbium, Erbium, Ytterbium, Scandium, Thulium, Holmium, Dysprosium, Philippium, Lucium.

40e LEÇON.

Examen des eaux douces.

Eaux servant aux usages domestiques. Qualités exigées. Prise d'échantillons.

Recherche des gaz dissous : acide carbonique, oxygène, azote. Matières en suspension. Substances dissoutes : acide sulfurique, acide chlorhydrique, acide carbonique total et à l'état de carbonates neutres, silice, chaux, magnésie, alumine, oxydes de fer et de manganèse, alcalis; acide phosphorique, acide azotique, acide azoteux, ammoniaque ; matières organiques. Quelques indications sur l'examen bactériologique des eaux.

Essai sommaire pour chaudières à vapeur.

Essais hydrotimétriques.

DEUXIÈME ANNÉE.

1re ET 2e LEÇONS.

Chrome.

Oxydes et sels de chrome. Acide chromique et chromates. Procédés de transformation. Recherche qualitative du chrome. Méthodes de dosage pondéral et volumétrique.

Séparations.

Minéraux du chrome. Analyse du plomb chromaté. Examen du fer chromé : analyse complète après désagrégation ; détermination de la teneur en chrome.

3e LEÇON.

Uranium.

Métal, carbure, oxydes. Sels uraneux ; sels uraniques ou sels d'uranyle ; uranates. Caractères des composés de l'uranium.

Dosage pondéral et volumétrique. Séparations.

Minéraux. Examen de la pechblende.

Phosphates uraniques. Vanadate uranique.

4e ET 5e LEÇONS.

Manganèse.

Composés oxygénés. Sels de manganèse, manganates et permanganates. Caractères, recherche qualitative.

Dosage pondéral à divers états ; électrolyse ; séparations. Dosage volumétrique direct ou indirect.

Minéraux; minerais oxydés du manganèse. Mode d'examen variable suivant l'emploi. Teneur en oxygène actif déterminée par le chlore, l'acide carbonique ou l'oxygène dégagé ; procédés volumétriques.

Évaluation de l'acide consommé industriellement. Analyse complète pour hauts fourneaux et verreries.

6ᵉ, 7ᵉ ET 8ᵉ LEÇONS.

Fer.

Métal, oxydes, sulfures. Sels ferreux, sels ferriques. Caractères. Transformations par oxydation ou par réduction.

Dosage pondéral, par précipitation et par électrolyse ; dosage colorimétrique. Procédés de dosage volumétrique.

Séparation du fer et des divers éléments précédemment étudiés.

9ᵉ, 10ᵉ, 11ᵉ ET 12ᵉ LEÇONS.

Minéraux et minerais du fer, produits métallurgiques.

Essais par la voie sèche : expériences préliminaires, calcul des fondants, essai proprement dit, discussion des résultats.

Essais par la voie humide : désagrégation, détermination de la teneur en fer par divers procédés volumétriques.

Analyse des minerais de fer oxydulé magnétique ; des minerais de fer peroxydé anhydre et peroxydé hydraté, purs et complexes ; des minerais de fer carbonaté spathique et carbonaté lithoïde ; sulfates, phosphates, phospho et arsénio-sulfates, silicates ferreux et ferriques.

Laitiers de hauts-fourneaux ; scories diverses de la métallurgie du fer ; scories de déphosphoration.

13ᵉ, 14ᵉ, 15ᵉ, 16ᵉ ET 17ᵉ LEÇONS.

Fontes, fers et aciers. — Prise d'essai, éléments à doser.

Carbone. — Divers états, leur différenciation. Détermination du carbone total : 1° par voie sèche ; 2° par voie humide ; emploi du chlorure cupropotassique, dosage de CO^2 en poids ou en volume. Détermination du graphite ; détermination du carbone combiné.

Silicium. — Dosage à l'état de silice, par voie sèche et par voie humide. Cas du ferrosilicium, du silicospiegel, de l'acier au titane ou au tungstène.

Phosphore. — Recherche directe après dissolution oxydante. Recherche après concentration par le chlorure cupropotassique. Dosage pondéral, volumétrique ou colorimétrique du phosphomolybdate.

Arsenic, seul ou en présence de phosphore.

Soufre. — Oxydation directe ou après concentration par le chlorure cupropotassique. Dosage à l'état de sulfate ou de sulfure. Méthodes pondérales, volumétriques ou colorimétriques.

Manganèse. — Métal plus ou moins manganésé; dosage pondéral ou volumétrique. Métal très peu manganésé, dosage colorimétrique.

Chrome. — Cas des alliages riches et des alliages pauvres en chrome ; désagrégation, dosage pondéral et volumétrique.

Nickel. — Méthode de concentration des chlorures par l'éther ; cas des aciers avec Ni et Mn, avec Ni, Mn et Cr.

Cuivre. — Dosage colorimétrique ou pondéral.

Titane. — Dosage en présence du phosphore et de l'arsenic.

Tungstène. — Emploi de l'eau régale ou du chlorure cuivrique.

Aluminium. — Dosage à l'état de phosphate.

Calcium, magnésium, aluminium. — Par grillage et HCl sec.

Laitier et *scorie* inclus dans le métal.

Dosage du *fer* par électrolyse ou par liqueurs titrées.

18e, 19e ET 20e LEÇONS.

Cobalt.

Métal, oxydes, sulfures. Sels cobalteux, sels ammoniocobaltiques ; caractères. Recherche qualitative (v. s. et v. h.). Divers procédés de dosage. Séparations.

Nickel.

Métal, oxydes, sulfures. Caractères des sels de nickel. Re-

cherche et dosage. Séparation des éléments précédents. Méthodes de séparation du cobalt et du nickel.

Minéraux et minerais du cobalt et du nickel.

Analyse des minerais oxydés du cobalt, de l'hydrosilicate de nickel, de la pyrite magnétique nickélifère, des minerais arsenicaux de cobalt et de nickel. Produits d'art; silicates ou phosphates de cobalt; nickel métallique.

21e, 22e ET 23e LEÇONS.

Zinc.

Métal pur, zinc ordinaire; oxyde, sulfure.

Caractères des sels de zinc. Méthodes de dosage pondéral. Séparations. Dosage volumétrique; dosage par électrolyse. Minerais du zinc : analyse de minerais plus ou moins complexes de blende et de calamine. Analyse du zinc du commerce.

Cadmium.

Sels de cadmium, caractères. Dosage pondéral. Séparation du cadmium et du zinc; électrolyse. Recherche de petites quantités de cadmium dans une blende.

Indium, Gallium, Thallium.

Caractères des sels, séparations. Recherche qualitative de traces de ces métaux dans des minerais blendeux ou pyriteux.

24e, 25e ET 26e LEÇONS.

Plomb.

Métal, oxydes, sulfures, sels. Caractères. Dosage du plomb en solution azotique, en solution chlorhydrique. Séparations. Dosage volumétrique. Dosage par électrolyse.

Minerais de plomb. Analyse d'une galène; analyse d'un minerai sulfuré complexe ; analyse d'un minerai carbonaté; analyse d'une pyromorphite.

Produits métallurgiques. Plomb métallique.

Essais par la voie sèche. Minerais oxydés, litharges, scories. Minerais sulfurés plus ou moins riches. Minerais blendeux, pyriteux, etc.

27e LEÇON.

Bismuth.

Métal, oxydes, sulfures, chlorures, azotates. Caractères. Dosage en solution azotique, en solution chlorhydrique. Séparations, bismuth, plomb, etc. Dosage volumétrique.

Minéraux du bismuth ; produits d'art. Analyse du bismuth métallique, du sous-nitrate de bismuth.

28e LEÇON.

Antimoine.

Métal, oxydes, sulfures. Sels formés par Sb^2O^3 et Sb^2O^5 avec les acides ou avec les bases. Recherche de l'antimoine. Méthodes de dosage pondéral, volumétrique, électrolytique. Séparations et, en particulier, distinction et séparation de l'antimoine et de l'arsenic.

Minéraux de l'antimoine. Analyse des minerais oxydés, des minerais sulfurés. Essais par voie sèche et par voie mixte. Analyse du régule d'antimoine.

29e ET 30e LEÇONS.

Étain.

Métal ; protoxyde et sels stanneux ; bioxyde, composés stanniques, métastanniques, parastanniques. Caractères. Procédés de dosage de l'étain. Séparations, notamment : séparation de l'étain, de l'antimoine et de l'arsenic.

Dosage volumétrique.

Dosage électrolytique ; séparation de l'étain et de l'antimoine.

Minerais de l'étain. Analyse de la cassitérite ; minerais concentrés, minerais pauvres. Essais par voie sèche et par voie mixte.

Alliages de l'étain. Analyse des alliages avec plomb, zinc, cui-

vre; plomb, bismuth, cadmium; antimoine, arsenic, plomb, cuivre.

31ᵉ, 32ᵉ ET 33ᵉ LEÇONS.

Cuivre.

Métal, oxydes, sulfures, sels. Caractères de voie sèche et de voie humide. Procédés de dosage pondéral et de séparation. Dosage électrolytique. Dosages volumétriques. Essais colorimétriques.

Minéraux et minerais. Examen du cuivre natif, cuivre oxydulé, cuivre oxydé noir, cuivre hydrocarbonaté, hydrosilicaté, oxychloruré, sulfuré, panaché, pyriteux (minerais plus ou moins complexes), cuivre gris antimonial et arsenical.

Essais par voie sèche. Détermination par électrolyse de la teneur en cuivre.

Alliages du cuivre. Analyse d'un bronze, d'un bronze phosphoreux, d'un laiton, d'un maillechort.

34ᵉ LEÇON.

Mercure.

Métal, oxydes, sels mercureux et sels mercuriques. Recherche du mercure. Procédés de dosage et séparations. Électrolyse. Dosage volumétrique.

Minerais. Analyse de cinabre.

Détermination de la teneur en mercure; procédés de distillation pour minerais riches ou pauvres; procédés d'amalgamation sur l'or par distillation ou par électrolyse.

35ᵉ ET 36ᵉ LEÇONS.

Argent.

Métal, oxyde, sulfure, chlorure, bromure, iodure. Caractères des sels dissous. Dosage de l'argent. Séparations. Méthodes de dosage volumétrique.

Essai de l'argent fin et des alliages.

Minéraux et minerais de l'argent. Analyse de l'argent rouge.

Essais par voie sèche : 1° production du culot de plomb argentifère : minerais moyens, pauvres, blendeux ou pyriteux, etc. Procédé mixte. Scorification ; 2° coupellation du plomb obtenu. Accidents à éviter.

37° ET 38° LEÇONS.

Or.

Métal, alliages, oxydes, chlorures. Caractères ; recherche par voie humide. Procédés de dosage et de séparation dans les dissolutions et dans les alliages. Séparation de l'or et de l'argent, de l'or et du cuivre, alliages d'or, d'argent et de cuivre.

Minerais de l'or. Analyse de l'or natif. Essais pour or par la voie sèche : 1° Production du plomb aurifère ; minerais quartzeux, sulfurés, pauvres ou riches ; 2° coupellation et inquartation ; 3° départ et pesée de l'or. — Essai des minerais par amalgamation directe.

39° ET 40° LEÇONS.

Platine.

Propriétés du platine au point de vue de l'emploi dans les laboratoires. Alliages. Caractères des sels. Procédés de dosage et de séparation. Platine et argent ; platine et or ; platine, or et argent.

Minerais de platine ; métaux qui l'accompagnent.

Palladium.

Métal et principaux composés. Caractères des sels de palladium. Dosage et séparations.

Iridium.

Métal et principaux composés. Caractères des sels. Recherche qualitative et dosage.

Rhodium.

Métal et principaux composés. Sels de rhodium. Caractères et dosage.

Ruthénium.

Métal et principaux composés. Caractères. Dosage.

Osmium.

Métal et principaux composés. Caractères analytiques et dosage de l'osmium. Osmiure d'iridium.

Examen de la mine de platine.

COURS DE CHIMIE INDUSTRIELLE.

M. H. LE CHATELIER,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, PROFESSEUR.

GÉNÉRALITÉS SUR LA COMBUSTION.

(8 leçons.)

1re LEÇON.

CHALEUR DE COMBUSTION.

Combustibles solides, liquides et gazeux.

Formules et compositions chimiques, poids moléculaires.

Combustions complète et incomplète.

Méthodes calorimétriques.

Lois thermochimiques et leur application au calcul de la variation des chaleurs de combustion.

Données numériques.

2e LEÇON.

ÉQUILIBRES CHIMIQUES DANS LA COMBUSTION.

Loi générale de l'équilibre chimique.

Influence de la pression, de la température, de l'action de masse.

Dissociation de l'acide carbonique, de la vapeur d'eau, de l'oxyde de carbone; équilibre entre l'oxyde de carbone et la vapeur d'eau.

Résultats expérimentaux; application à la combustion dans les foyers.

3e LEÇON.

TEMPÉRATURES DE COMBUSTION.

Chaleur d'échauffement, chaleur spécifique à pression et volume constant.

Calcul de la température de combustion; influence de la dissociation.

Pression explosive : calcul et mesure expérimentale.

Refroidissement des gaz chauds après combustion dans une enceinte froide.

4e LEÇON.

GÉNÉRALITÉS SUR LA COMBUSTION DES GAZ.

Combustion lente. — Vitesse de combustion; influence de la température, de la pression, du contact de corps solides poreux ou compacts, de la présence de gaz étrangers. — Extinction par agitation.

Combustion vive. — Température d'inflammation. — Retard à l'inflammation. — Limites d'inflammabilité.

Vitesse de propagation de la combustion. — Propagation normale; influence de la température, de l'agitation des gaz, des mouvements vibratoires. — Onde explosive.

5e LEÇON.

MESURE DES TEMPÉRATURES ÉLEVÉES.

Définition de la température. — *Thermomètre normal* à gaz.

Pyroscopes : par *retrait* de Wedgwood; par *ramollissement* de Séger; par *fusion* d'alliages et de sels.

Pyromètre *calorimétrique*.

Pyromètre *électrique* à résistance de platine; couples *thermo électriques*.

Pyromètre *optique*.

6e LEÇON.

ANALYSE INDUSTRIELLE DES MÉLANGES GAZEUX.

Méthode par les *absorbants;* application aux fumées, gaz de gazogène et gaz d'éclairage. Burette de Bunte.

Méthode par *combustion* au contact d'une spirale incandescente. Application au dosage de petites quantités de grisou.

Méthode par les *limites d'inflammabilité.* Détermination des limites; mélange de plusieurs gaz combustibles.

Méthodes *densimétriques :* application au contrôle des fumées.

7e LEÇON.

UTILISATION DE LA PUISSANCE CALORIFIQUE DES COMBUSTIBLES.

Puissance théorique d'un combustible. — Diverses causes de perte de puissance.

Combustion irréversible. Chute de température. Perte par les fumées. Perte par rayonnement.

Récupération : résultats théoriques et pratiques.

Application à titre d'exemple de la récupération aux fours à distiller la houille.

8e LEÇON.

COMBUSTION POUR ÉCLAIRAGE; PHOTOMÉTRIE.

Pouvoir éclairant. — Éclairage par incandescence. Platine. Magnésie. Zircone. Thorine.

Précipitation du carbone dans les flammes éclairantes. Influence de la température des gaz; de la nature des carbures, des gaz oxygénés : eau, acide carbonique et air mêlés au gaz combustible. Influence de la vitesse de sortie des gaz. Stabilité des flammes. Combustion complète et incomplète.

Divers types de becs. — Bec-bougie, bec à fente, bec Manches-

ter. Bec Argand. Becs à récupération de chaleur, Becs à incandescence.

Photométrie. Méthode de comparaison ; photomètre Regnault et photomètre Bunsen. — Étalons de lumière : platine fondant, Carcel, bougie. Lampe à l'acétate d'amyle. Étalons approchés de Metzger et Giroud. Brûleurs types. Consommation fixe et consommation variable.

GAZ D'ÉCLAIRAGE.

(4 leçons.)

9e LEÇON.

GÉNÉRALITÉS SUR LA DISTILLATION ; FOURS.

Matières premières. — Houille, cannel coal et boghead. — Goudrons, résines, pétrole.

Produits de la distillation. — Gaz : analyse. Rôle de la benzine, des carbures absorbables par le brome.

Goudrons : huiles légères, huiles lourdes et brai.

Coke : dureté, teneur en cendres.

Distillation de la houille. — Rendement. Influence de la température de distillation et de la composition des houilles sur les produits obtenus.

Manutention. — Chemins de fer, canaux, relevage mécanique. — Transports intérieurs.

Appareils de distillation. — Cornues : têtes de cornues. Obturation. Disposition des cornues dans le four.

Chargement : travail à la main. Appareils mécaniques. Cornues inclinées.

10e LEÇON.

FABRICATION DU GAZ.

Chauffage. Emploi de la houille, du coke, du goudron, des gaz

de gazogène. Chauffage de l'air, récupération à circulation directe ou à renversement. Économie possible.

Différents types de fours. Fours au coke à sept cornues. Fours Siemens de la Compagnie parisienne. Fours à récupération directe.

Disposition des halles et des fours : arrivée du charbon, extinction et enlevage des cokes.

Dépense de distillation : frais d'établissement des fours. Entretien des cornues. Chauffage. Main-d'œuvre.

11e LEÇON.

CONDENSATION, ÉPURATION, ÉMISSION.

Condensation. — Théorie de la condensation. Condensation mécanique, physique et chimique.

Appareils de condensation : colonne montante, barillet, collecteurs, jeux d'orgue. Condensateur à choc.

Épuration. — Impuretés du gaz : leur nature, leurs inconvénients. Procédés chimiques d'épuration.

Ammoniaque : caisse à sciure. Laveur rotatif.

Hydrogène sulfuré : caisse à oxyde de fer. — Revivification.

Aspirateurs. — Nécessité de l'aspiration. Pompes rotatives, pompes à cylindres.

Gazomètres. Cuves en maçonnerie, cuves métalliques, gazomètres télescopiques.

Émission. — Régulateurs de pression.

12e LEÇON.

ACÉTYLÈNE.

Propriétés chimiques et physiques. — Explosibilité du gaz comprimé. — Rôle des corps poreux.

Solubilité dans divers dissolvants.

Préparation; prix de revient.

Emmagasinement par liquéfaction, compression ou dissolution.

Combustion, pouvoir éclairant. — Becs à acétylène; rôle des impuretés.

EXPLOSIFS.

(3 leçons.)

13e LEÇON.

GÉNÉRALITÉS SUR LES EXPLOSIFS.

Composés endothermiques et exothermiques; explosifs proprement dits; composés définis et mélanges explosifs.

Modes divers de décomposition d'un même explosif; incertitude sur la nature des réactions dans le cas des phénomènes d'équilibre; influence d'un refroidissement rapide. Quantités de chaleurs et volumes de gaz produits par les réactions chimiques.

Calcul de la température et de la pression. — Explosion en vase clos et à l'air libre. Influence de la détente sur la chute de température.

Divers modes de propagation de la réaction explosive. — Déflagration ou propagation par conductibilité. Détonation ou propagation par onde explosive. Conditions provoquant l'inflammation ou la détonation. Influence de la température, de la densité de l'explosif. Détonation à l'air libre et en vase clos. Propriétés du fulminate de mercure. Détonateurs intermédiaires.

14e LEÇON.

PROPRIÉTÉS INDIVIDUELLES DES PRINCIPAUX EXPLOSIFS.

Classification des explosifs. — Explosifs à excès ou à défaut d'oxygène. Composés définis et mélanges.

Propriétés des explosifs. — Formules de constitution et de réac-

tion. Chaleurs latente, de formation et de réaction. Volume spécifique de l'explosif et des produits de l'explosion. Pression et température d'explosion. Aptitude à la détonation à l'air libre et en vase clos.

Poudre noire.

Fulminate de mercure. Azotate de diazobenzol. Nitronaphtaline.

Coton poudre. Acide picrique. Binitrobenzine.

Nitroglycérine. — Dynamite siliceuse; dynamite gomme.

Azotate d'ammoniaque. — Mélanges avec la dynamite, le coton poudre, la binitrobenzine, la nitrobenzine.

Panclastites.

Produits oxygénés de l'azote liquide mêlés à des matières carbonées.

Explosifs au *chlorate* de potasse.

15e LEÇON.

EMPLOI DES EXPLOSIFS DANS LE GRISOU.

Statistique des accidents de grisou; rôle des explosifs.

Distinction *à priori* entre les explosifs détonants et déflagrants.

Expériences de Sevran-Livry.

Rôle de la température de détonation; de la masse de l'enveloppe, de la masse totale de l'explosif.

Explosifs au nitrate d'ammoniaque. — Avantages et inconvénients.

MORTIERS.

(6 leçons.)

16e LEÇON.

MORTIERS AÉRIENS.

Nature des mortiers. — Classification.

Mortiers aériens. — Plasticité et durcissement : influence de

la proportion d'eau; de la finesse des grains, de leur forme, du malaxage.

Retrait. — Nécessité du retrait; conséquence du retrait; emploi du sable, de la paille hachée dans les mortiers.

Mortiers argileux. — Nature, mode d'emploi, avantages et inconvénients.

Mortier de chaux grasse. — Propriétés de la chaux. Décomposition du carbonate de chaux par la chaleur; extinction de la chaux vive. Carbonatation de l'hydrate de chaux.

Fabrication de la chaux vive. — Choix des calcaires; fours et combustibles. Prix de revient.

Extinction de la chaux. — Par immersion, en tas, à l'air.

Mode d'emploi de la chaux. — Rendement en volume des mortiers sableux. Prix de revient.

17e LEÇON.

PLATRE.

Propriétés du sulfate de chaux. — Divers hydrates du sulfate de chaux; température de déshydratation; courbes de solubilité. Sursaturation; rapprochement avec le sulfate de soude. Influence de la compacité, du degré de cuisson du sulfate de chaux sur la rapidité de la dissolution. Cristallisation du plâtre au contact de l'eau. Phénomènes analogues présentés par d'autres sels : sulfate de soude anhydre, sulfate double de chaux et de potasse, aluminate de chaux, silicate de baryte. Mécanisme général du durcissement des mortiers hydrauliques. Rapidité de prise.

Fabrication du plâtre. — Nature de la pierre à plâtre. Cuisson du plâtre en tas, au four à boulanger, au four coulant. Température de cuisson. Inégalité de cuisson. Broyage du plâtre, prix de revient.

Emploi du plâtre. — Eau de gâchage. Rapidité de prise. Dessic-

cation. Gonflement. Altération aux agents atmosphériques. Manque d'adhérence. Impossibilité d'ajouter du sable. Plâtre aluné. Stuc.

18° LEÇON.

MORTIERS HYDRAULIQUES.

Étude des sels de chaux. — Silicates de chaux. — Silicates anhydres, vitreux et cristallisés. Wollastonite. Péridot calcaire. Pulvérisation spontanée. Silicate tricalcique; sa décomposition par l'eau. Silicate hydraté. Action directe de l'hydrate de chaux sur la silice. Décomposition par l'eau du silicate de chaux. Analogies avec le silicate de baryte.

Aluminates de chaux. Aluminates anhydres cristallisés. Action de l'eau, sursaturation. Aluminate de chaux hydraté. Décomposition par l'eau.

Ferrites de chaux anhydres et hydratés.

Silico-aluminate et silico-ferrites de chaux.

Mortiers hydrauliques. — Classification : chaux hydraulique. Ciment à prise lente et à prise rapide. Ciment naturel et artificiel. — Pouzzolanes.

Historique : travaux de Vicat.

19° LEÇON.

CHAUX HYDRAULIQUE.

Chaux hydraulique. — Calcaires à chaux hydraulique : calcaire siliceux ou argileux. Influence des proportions et de l'état de la silice.

Cuisson de la chaux hydraulique.

Extinction de la chaux hydraulique. Nécessité d'une extinction prolongée, d'une température élevée pendant l'extinction, de quantités d'eau rigoureusement dosées.

Broyage et blutage.

Prix de revient.

Ciment de grappier. — Grappiers ou résidus de l'extinction. Incuits, chaux insuffisamment éteinte. Chaux noyée. Grappier de ciment.

Fabrication du ciment de grappier. Extinction à l'air des grappiers. Blutage. Broyage. Sablette.

Propriétés des chaux. — Durée de prise. Allure du durcissement. Conditions d'emploi.

20e LEÇON.

CIMENTS.

Ciment Portland ou artificiel à prise lente. — Nature des pâtes : défaut d'homogénéité des calcaires. Nécessité des mélanges. Nature des matières mélangées : craie et argile, calcaires marneux, chaux et ciment rapide.

Confection des pâtes. — Mélange à l'état liquide, à l'état pâteux ou à l'état solide. Bassins de décantation. Dessiccation par les chaleurs perdues.

Cuisson des ciments. — Four anglais; four circulaire; four coulant; four tournant. Produits de la cuisson : roches scorifiées; poussières lourdes; incuits. Relation entre la composition des pâtes et le degré de cuisson nécessaire.

Broyage et blutage. — Concasseurs. Cylindres. Meules. Broyeurs à boulets. Extinction à l'air et silotage.

Prix de revient.

Ciments naturels lents et rapides. — Nature des calcaires; cuisson. Qualités et défauts. Prix de revient.

Propriétés des ciments. — Durée de prise; allure du durcissement; gonflement; altération aux agents atmosphériques et à la mer.

21e LEÇON.

POUZZOLANES ET ESSAIS.

Pouzzolanes. — Nature siliceuse des pouzzolanes : argile cuite; matières vitreuses; mâchefer; laitiers de hauts fourneaux.

Ciment de laitier. — Composition des laitiers. Influence de la trempe. Addition d'agrégat. Inconvénients du sulfure de calcium. Prix de revient.

Essais des chaux et ciments. — Qualités nécessaires : durée de prise, durcissement définitif; absence de gonflement; adhérence aux matériaux de construction; résistance aux agents atmosphériques, à l'eau de mer; absence de porosité.

VERRES.

(4 leçons.)

22° LEÇON.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES CORPS VITREUX.

Propriétés caractéristiques des verres. — Homogénéité et transparence ; fusion pâteuse et viscosité.

Nature des verres. — Éléments vitrifiables acides : Acides silicique, borique et phosphorique. Éléments fondants basiques : potasse, soude, chaux, baryte, oxyde de plomb.

Verres de silice. — Propriétés de la silice, des silicates définis, des verres silicieux simples ou multiples. — Sursaturation et dévitrification.

Verres d'acide borique. — Propriétés de l'acide borique, des borates définis, des verres d'acide borique. — Liquation et dévitrification.

Verres d'acide phosphorique. — Phosphate de silice.

Comparaison des qualités et défauts de ces différents verres.

Dilatation des verres.

23° LEÇON.

VERRES PROPREMENT DITS.

Composition des verres. — Verres à base de chaux et de soude, de chaux et de potasse, d'oxyde de plomb et de potasse.

Qualités des verres. — Ténacité, élasticité, inaltérabilité, viscosité prolongée, absence de dévitrification, pouvoir réfringent, coloration.

Généralités sur le travail des verres. — Fusion, affinage, soufflage, moulage, coulage, taille et polissage. Décoration.

Matières premières. — Sables, calcaires, marnes, sels de soude et de potasse, minium.

Défauts des verres. — Bulles et bouillons, points et mousses, ondes, larmes et fils, stries, gale.

Creusets — Travail de la terre, façonnage, séchage, cuisson, prix de revient. Flotteurs. Pots fermés, pots cloisonnés.

Fours. — Fours à creuset et fours à fusion continue. Chauffage au bois, à la houille et au gaz. Fours à pots ouverts et à pots fermés. Chauffage de l'air, récupération. Description des principaux types de fours. Prix de premier établissement.

Outils. — Cannes, tiges en fer, crochets, ciseaux, moules.

24ᵉ LEÇON.

VERRES SOUFFLÉS.

Vitres. — Composition. Outils. Travail des vitres en manchon. Soufflage, étendage. Taille.

Globes de pendules. Vitres cannelées.

Travail des vitres en plateau.

Prix de revient. — Matières premières, main-d'œuvre, combustible. Fours et creusets. Frais généraux.

Vitres colorées. — Cémentation, doublage, coloration de la masse.

Gobeleterie. — Composition ; verres de Bohême. Soufflage et moulage.

Bouteilles. — Composition. Matières premières. Fritte. Fusion. Travail. Prix de revient.

Soufflage mécanique. — Procédé Appert.

25ᵉ LEÇON.

VERRES COULÉS.

Glaces. — Composition. Coulage sur table. Recuit. Polissage. Étamage.

Glaces brutes. Verres perforés.

Verres moulés. Objectifs, etc.

Taille du verre. — Gravure à la meule. Gravure à l'acide fluorhydrique opaque et transparente.

Verre trempé. — Résultats obtenus. Qualités et défauts. Comparaison avec les verres recuits.

Cristal. — Composition. Fusion en pots fermés et en pots ouverts. Travail du cristal. Prix de revient.

Flint pour objectif.

Coloration du cristal.

Émaux. — Composition. Coloration. Émaux transparents et opaques.

Application des émaux sur verre et sur métal.

Émaux inscrustés, cloisonnés, de basse taille, des peintres.

Peinture sur verre. — Fondants. Oxydes colorants.

CÉRAMIQUE.

(5 leçons.)

26ᵉ LEÇON.

MATIÈRES PREMIÈRES.

Généralités. — Plasticité des pâtes argileuses et leur durcissement par la chaleur. Addition de matières dégraissantes pour

combattre le retrait, de matières fondantes pour augmenter la dureté. Emploi de couvertes vitrifiables pour supprimer la porosité, de couvertes opaques pour masquer la coloration des terres ferrugineuses, de couleurs et d'émaux comme moyen de décoration.

Étude des argiles. — Argiles cristallines, argiles colloïdales. Action de la chaleur. Classification chimique.

Kaolins. — Gisements ; formation, extraction. Kaolin argileux, sableux et caillouteux. Composition.

Argiles réfractaires. Gisements. Formation. Extraction. Composition chimique. Analyse et essais.

Halloysites, Cimolites, Ocres, Marnes.

Silice. — Quartz. Sable quartzeux. Silex. Gisements. Degré de pureté.

Feldspath. — Fusibilité. Inaltérabilité. Verre feldspathique. Feldspath potassique et sodique. Roches feldspathiques. Gisements.

Sels calcaires. — Carbonate de chaux. Craie. Marbre. Calcaire marneux. Sulfate de chaux. Chaux éteinte. Fusibilité des mélanges d'argile et de chaux.

Oxyde de fer. — Sa dissémination dans les roches terrestres. Action de la chaleur et des réducteurs sur l'oxyde de fer pur ou mêlé à des matières silicieuses et argileuses. Colorations diverses.

Acide borique. — Fusibilité et dureté des verres boraciques.

27e LEÇON.

GÉNÉRALITÉS SUR LES PRODUITS CÉRAMIQUES.

Classification des produits céramiques. — Terre cuite, terre vernissée. Grès. Faïence stannifère ; faïence fine. Porcelaine.

Composition des pâtes, couvertes, émaux et couleurs. — Pâtes siliceuses, feldspathiques, phosphatiques.

Couvertes alcalines, plombeuses, boraciques, stannifères et feldspathiques.

Émaux et fondants pour couleurs.

Couleurs.

Fabrication. — Préparation des pâtes. — Broyage, mélange, égouttage, malaxage, pourrissage.

Façonnage des pâtes. — Tournage et tournassage, moulage, coulage, séchage.

Cuisson. — Cuisson au dégourdi. — Pose de la couverte par immersion, pulvérisation et au putois. — Seconde cuisson. — Décoration. Cuisson au moufle.

28e LEÇON.

TERRE CUITE ET GRÈS CÉRAMES.

Briques. — Choix de la terre. Travail de la terre. Mélange d'argile et de sable.

Façonnage à la main et à la machine. Compression. Séchage. Cuisson en tas et au four continu.

Qualité des briques. — Dureté. Retrait. Coloration.

Prix de revient.

Fabrications diverses. — Tuiles, tuyaux de drainage, terre cuite proprement dite. — Terre vernissée.

Grès cérames. — Composition des pâtes. Cuisson. Vernissage.

29e LEÇON.

FAÏENCE.

Faïence stannifère. — Terre à faïence; composition des pâtes. Préparation des pâtes, première cuisson.

Émaillage. — Composition des couvertes stannifères. Préparation. Application. Couvertes colorées. Seconde cuisson. Encastage.

Décoration des faïences communes. Peinture sur émail cuit et sur émail cru. Engobes.

Faïence fine. — Composition ; cailloutage et pâte feldspathique. Préparation des pâtes. Façonnage.

Cuisson. — Fours. Encastage, cuisson au dégourdi.

Couverte. — Composition. Préparation. Application. Seconde cuisson.

Décoration. — Peinture sous couverte et sur couverte. Émaux transparents.

Prix de revient.

30e LEÇON.

PORCELAINE.

Porcelaine dure. — Composition des pâtes. — Préparation des matières ; broyage ; délayage, égouttage, séchage à la presse. Mélange des pâtes, malaxage, conservation. Composition des pâtes de porcelaine dure et de porcelaine de Chine.

Façonnage des pâtes. — Coulage simple, coulage par pression. Tournage et tournassage. Moulage. Dessiccation. Retrait.

Couverte. — Composition pour porcelaine dure et porcelaine de Chine. Préparation ; application par immersion, pulvérisation, au putois.

Cuisson. — Fours à la houille, au bois, au gaz. Conduite du feu. Montres fusibles. Cuisson au dégourdi. Cuisson proprement dite. Accidents.

SELS DE SOUDE.

(3 leçons.)

31e LEÇON.

EXTRACTION DU CHLORURE DE SODIUM.

Sel marin. — Composition des eaux de la mer. Résultat de l'évaporation progressive. Marais salants.

Sel gemme. — Gisements, impuretés. Extraction en roche, en dissolution. Évaporation dans les poêles à feu nu. Procédé Piccard.

32e LEÇON.

SULFATE DE SOUDE ET ACIDE CHLORHYDRIQUE.

Divers procédés permettant d'extraire la soude du chlorure de sodium.

Fabrication du sulfate :

Fours simples. Fours à moufle. Fours tournants.
Procédé Heargrave.

33e LEÇON.

CARBONATE DE SOUDE.

Procédé Leblanc :

Four à réverbère et four tournant.
Lessivage de la soude brute.
Évaporation des dissolutions. Cristallisation du carbonate.

Soude à l'ammoniaque. — Réactions chimiques. Colonnes à absorption. — Torréfacteur. — Récupération de l'ammoniaque. — Rendements.

COURS DE MINÉRALOGIE[1].

M. TERMIER,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, PROFESSEUR.

1re LEÇON.

Histoire de la minéralogie. — Différents caractères qui servent à distinguer les minéraux. — Caractères organoleptiques. — Division du cours en deux parties.

PREMIÈRE PARTIE.

CRISTALLOGRAPHIE GÉOMÉTRIQUE ET PHYSIQUE.

I. — Cristallographie géométrique.

2e LEÇON.

STRUCTURE INTÉRIEURE DES CORPS CRISTALLISÉS.

Définition d'un cristal. — Homogénéité cristalline. — Exposé sommaire de la théorie d'Haüy. — Théorie de Bravais. — Systèmes réticulaires. — Polyèdre moléculaire. — Édifice moléculaire.

---

(1) L'enseignement oral est complété par des conférences, au nombre de quarante environ, dans lesquelles les élèves sont formés à la reconnaissance des minéraux, à la pratique du chalumeau et au maniement des divers instruments tels que goniomètre, microscope, etc. Ces instruments restent d'une manière constante à leur disposition.

Les élèves ont en outre entre leurs mains une collection complète de minéraux.

3e LEÇON.

Propriétés géométriques des systèmes réticulaires. — Mailles parallélépipédiques. — Rangées. — Coordonnées numériques. — Plans réticulaires. — Zones et axes de zone. — Changement d'axes coordonnés.

4e ET 5e LEÇONS.

SYMÉTRIE DES POLYÈDRES ET DES SYSTÈMES RÉTICULAIRES.

Définition des axes de symétrie et de leur ordre. — Théorèmes sur la symétrie des polyèdres. — Théorèmes sur la symétrie des systèmes réticulaires.

Classification des systèmes réticulaires suivant leur genre de symétrie.

Sept systèmes différents.

Symétrie des édifices moléculaires. — Holoédrie et mériédrie. — Formes simples. — Les trente-deux classes.

6e LEÇON.

SYSTÈMES CRISTALLINS.

Système cubique ou terquaternaire.

Système d'axes coordonnés.

Formes simples holoédriques. — Formes composées holoédriques.

Système de notation d'Haüy-Lévy.

Formes mériédriques :

1° Hémiédrie holoaxe.

2° Parahémiédrie. Exemple : pyrite.

3° Antihémiédrie. Exemple : boracite.

4° Tétartoédrie. Exemple : chlorate de soude.

7e, 8e, 9e ET 10e LEÇONS.

Système hexagonal ou sénaire.

Système rhomboédrique ou ternaire.

Système quadratique.

Système orthorhombique ou terbinaire.

Système clinorhombique ou binaire.

Système triclinique ou asymétrique.

Nota. — Pour chacun des systèmes cristallins, on examine les diverses classes qui s'y rattachent, en suivant l'ordre indiqué pour le système cubique.

11e LEÇON.

MESURE DES ANGLES DES CRISTAUX.

Goniomètre d'application. — Goniomètre à réflexion. — Détails sur l'emploi de cet appareil. — Erreurs d'observation qu'il comporte. — Appareil de Mallard.

12e ET 13e LEÇONS.

CALCULS CRISTALLOGRAPHIQUES.

Marche à suivre pour trouver, par le calcul, les paramètres cristallins et les symboles des faces d'un cristal dont la position relative des normales aux faces a été fixée par les observations goniométriques. — Principales formules à employer. — Projection stéréographique. — Calculs inverses. — Recherche de la maille la plus probable parmi toutes les mailles possibles.

II. — Cristallographie physique.

14e LEÇON.

Théorie générale des ellipsoïdes représentatifs de la variation, avec la direction, des propriétés physiques des milieux cristallisés.

Rapport de ces ellipsoïdes avec la symétrie cristalline.

PROPRIÉTÉS OPTIQUES.

Rappel des principales lois de la propagation lumineuse. — Polarisation de la lumière.

Double réfraction uniaxe. — Ellipsoïde de polarisation.

15ᵉ, 16ᵉ ET 17ᵉ LEÇONS.

Double réfraction biaxe. — Forme de la surface de l'onde. — Vérifications expérimentales. — Axes optiques.

Polariseurs et analyseurs. — Vibrations elliptiques. — Vibrations circulaires.

Polarisation chromatique en lumière parallèle. — Biréfringence. — Phénomènes en lumière convergente. — Courbes incolores. — Courbes d'égal retard. — Dispersion cristalline.

18ᵉ LEÇON.

Polarisation rotatoire cristalline. — Lois du phénomène. — Piles de Reusch. — Théories de Mallard et de Sohncke. — Polarisation rotatoire moléculaire.

Polychroïsme. — Houppes et Astéries.

Double réfraction accidentelle.

19ᵉ LEÇON.

Procédés d'observation. — Microscopes polarisants. — Détermination de la biréfringence, du signe, des directions d'extinction, de l'angle des axes optiques. — Application à la pétrographie.

20ᵉ ET 21ᵉ LEÇONS.

PROPRIÉTÉS THERMIQUES.

Propagation de la chaleur dans les cristaux. — Ellipsoïde de conductibilité. — Ellipses isothermes. — Expériences de Sénarmont et de Jannettaz.

Dilatation par la chaleur. — Ellipsoïde de dilatation. — Coefficient de dilatation suivant une direction quelconque. — Expériences de Fizeau.

Modification des propriétés optiques par la chaleur : orthose, gypse, etc.

PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES.

Pyro-électricité. — Ses rapports avec la symétrie cristalline. — Tourmaline. — Calamine. — Axinite.

Piézo-électricité. — Expériences de MM. Curie.

Thermo-électricité. — Expériences de Friedel.

Influence d'un champ magnétique puissant.

ÉLASTICITÉ ET COHÉSION.

Variations de l'élasticité et de la cohésion.

Clivages.

Dureté. — Échelle de dureté de Mohs.

Différences de la dureté suivant les différentes faces et les différentes directions d'une même face. — Expériences de Seebeck, Franz, Grœlich et Exner.

Relation de la dureté avec les directions de clivage.

Rapport entre la dureté et le frottement.

Figures de corrosion. — Moyens de provoquer les figures de corrosion. — Rapport de ces figures avec la symétrie des faces cristallines. — Leur emploi pour déterminer la symétrie des cristaux.

Accidents de la surface des cristaux, tels que stries, etc.

CRISTALLOGÉNIE.

Lois générales de la formation des cristaux. — Influence des impuretés de l'eau-mère. — Expériences de Pasteur.

22e ET 23e LEÇONS.

GROUPEMENTS CRISTALLINS.

Groupements par accolement suivant un plan, ce plan devenant plan de symétrie. — Exemples de mâcles par hémitropie. — Expériences de Baumhauer.

Explication proposée par Mallard. — Théorie de M. Wallerant.

Groupements autres que les précédents. — Exemples. — Théorie générale de Mallard sur la pseudo-symétrie. — Théorie de M. Wallerant. — Cristaux mimétiques : boracite, pyrénéite, boléite, leucite, etc.

24e LEÇON.

ISOMORPHISME ET POLYMORPHISME.

Définition de l'isomorphisme. — Volume moléculaire. — Relations entre l'isomorphisme et la formule chimique. — Raisons de croire à la non-généralité de la loi dite de Mitscherlich.

Cristaux formés par le mélange de deux substances isomorphes. — Lois de ce mélange assez mal connues. — Nécessité de l'égalité des volumes moléculaires. — Cas de l'isomorphisme imparfait. — Dolomie.

Orientation, par un cristal insoluble, des cristaux isomorphes déposés par une dissolution. — Expérience de Sénarmont (Calcite et azotate de soude).

Action des cristaux isomorphes sur la désursaturation des liqueurs.

Propriétés optiques des cristaux formés par mélange isomorphe. — Formules de Mallard et de M. Dufet.

Relations entre les formes cristallines d'une même substance polymorphe. — Densités. — Formes limites. — Exemples.

Passage d'une forme à une autre. — Chaleur latente correspondant au changement d'état.

Changements d'état produits par la variation de température; réversibles quand la chaleur latente correspond à une absorption de chaleur pour une augmentation de température ou inversement. — Boracite. — Iodargyrite. — Soufre. — Nitre.

Changements non réversibles. — Aragonite. — Formes stables et instables. — Cristallisation, sous le microscope, d'une dissolution saturée de nitre.

Passage d'une forme cristalline à une autre sous l'influence de la pression, réversible quand, sous l'influence d'une augmentation de pression, le changement d'état amène une augmentation de volume ou inversement. — Iodargyrite.

Théorie de Mallard pour l'explication du polymorphisme. — Molécules cristallines polymères.

Théorie de Mallard sur la quasi-cubicité de toutes les mailles cristallines.

Théorie de Sohncke, modifiée par M. Schœnflies et par M. Wallerant.

DEUXIÈME PARTIE.

DESCRIPTION DES ESPÈCES MINÉRALES [1].

25e, 26e ET 27e LEÇONS.

Définition de l'espèce minérale.

Classifications minéralogiques. — Classification employée dans le cours.

Essais pyrognostiques. — Généralités sur les gisements.

---

[1] Les minéraux dont les noms sont en caractères gras sont seuls décrits avec détail.

Des feuilles autographiées contenant les principales propriétés physiques, optiques et cristallographiques, ainsi que la composition chimique des minéraux, avec les figures de leurs formes cristallines les plus habituelles, sont remises aux élèves avant le commencement du cours et permettent d'abréger les leçons orales.

I. — Métalloïdes.

1° Familles de l'hydrogène, du chlore et de l'oxygène.

Hydrogène.

Acide chlorhydrique.

Oxygène. — **Eau.**

Soufre. — Acides sulfureux et sulfurique. — Hydrogène sulfuré.

Sélénium.

Tellure.

2° Famille de l'azote.

AZOTE. — ARSENIC. — ANTIMOINE. — BISMUTH.

Corps natifs. — Azote. — **Arsenic.** — **Antimoine.** — **Bismuth.**

Sulfures et tellurures. — **Réalgar.** — **Orpiment.** — **Stibine.** — **Bismuthine.** — Tétradymite.

Oxydes. — Arsénite. — Claudétite. — **Sénarmontite.** — **Valentinite.**

Sassoline.

3° Famille du molybdène.

Sulfure. — **Molybdénite.**

Oxydes. — Molybdenocre. — Acide tungstique.

4° Famille du carbone.

CARBONE. — TITANE. — ÉTAIN. — SILICIUM. — ZIRCONIUM.

Corps natifs. — **Diamant.** — **Graphite.**

Combustibles minéraux. — **Anthracite.** — **Houille.** — **Lignite.** — **Tourbe.** — **Boghead.**

Hydrocarbures. — Grisou. — Gaz oléfiant.

Pétrole. — **Bitumes et asphaltes.**

Ozocérite.

Résines. — Rétinite. — Copalite. — **Ambre jaune.**

Sulfure. — Stannite.

Oxydes. — Acide carbonique. — **Rutile.** — **Anatase.** — **Brookite.**

Cassitérite.

Quartz. — **Calcédoine.** — **Tridymite.** — **Opale.**

28e LEÇON.

II. — SILICATES.

I. SILICATES ANHYDRES.

1° SILICATES ANHYDRES À BASE DE SESQUIOXYDE.

Andalousite. — **Disthène.** — **Sillimanite.**

Topaze.

Dumortiérite.

Xénolite. — Eulytine. — Agricolite.

2° SILICATES ANHYDRES À BASE DE PROTOXYDE.

SILICATES BIBASIQUES.

Péridots (Olivine, Forstérite, Fayalite, Téphroïte, Knébelite, Monticellite).

Humite. — **Chondrodite.**

Willémite. — **Phénacite.**

Helvine. — Danalite.

29e ET 30e LEÇONS.

SILICATES MONOBASIQUES.

Groupe pyroxénique. — **Rhodonite.**

Wollastonite.

Bronzites (Enstatite, Bronzite, Hypersthène).

Pyroxènes (Diopside, Malacolite, Diallage, Hédenbergite, Augite).

Groupe amphibolique. — **Anthophyllite.** — Gédrite. — Grünerite.

Amphiboles (Trémolite, Actinote, Hornblende, Pargasite, Ouralite, Asbeste, Néphrite).

3° SILICATES ANHYDRES CONTENANT DES SESQUIOXYDES ET DES PROTOXYDES.

PYROXÉNIDES ET AMPHIBOLIDES.

Pyroxénides. — Achmite. — **Œgirine.** — Babingtonite. — **Jadéite.** — **Triphane.**

Amphibolides. — **Arfvedsonite.** — **Crocidolite.** — **Glaucophane.** — Cossyrite.

31e ET 32e LEÇONS.

SILICATES BLANCS D'ALUMINE ET PROTOXYDE (CHAUX ET ALCALIS).

Feldspaths. — *Famille de l'orthose :* **Orthose, microcline, anorthose, microperthite, cryptoperthite.**

Hyalophane.

Famille des plagioclases : **Albite, anorthite, mélanges d'albite et d'anorthite** (Oligoclase, Andésine, Labrador, Bytownite). — Diagnostic des plagioclases.

Feldspathides. — Pétalite.

Leucite.

Néphélines (Néphéline, Davyne, Cancrinite, Microsommite).

Sodalite.

Noséanes (Noséane, Haüyne, Lapis-Lazuli).

Divers. — **Wernérites** (Méionite, Paranthine, Dipyre).

Sarcolite. — **Mélilite.** — Gehlénite. — Milarite.

33e LEÇON.

SILICATES COLORÉS DE SESQUIOXYDES ET DE PROTOXYDES.

Grenats (Almandin, Pyrope, Spessartine, Grossulaire, Mélanite, Ouvarowite).

Épidotes (Épidote, Zoïsite). — **Idocrase.**

Orthite. — Gadolinite.

Cordiérite. — **Staurotide.** — Saphirine. — **Ilvaïte.**

Émeraude.

34ᵉ, 35ᵉ ET 36ᵉ LEÇONS.

MICAS.

Muscovites (Paragonite, Muscovite, Lépidolite).

Biotites (Biotite, Phlogopite, Zinnwaldite).

II. SILICATES HYDRATÉS.

1° SILICATES HYDRATÉS À BASE DE SESQUIOXYDE ET DE PROTOXYDE.

Un clivage très facile. — Margarite.

Clintonites (Chloritoïde, Xantophyllite, Brandisite, Clintonite).

Chlorites (Pennine, Clinochlore, Ripidolite).

Divers. — **Prehnite.** — Euclase. — Pollux.

Cérite.

Zéolites. — Thomsonite. — Edingtonite.

Mésotypes (Mésotype, Scolésite, Mésolite).

Laumontite.

Gismondine. — Faujasite. — **Analcime.** — Eudnophite. — **Christianite.** — **Harmotome.**

Chabasies (Lévyne, Gmélinite, Chabasie, Phacolite).

Stilbite. — **Heulandite.** — Epistilbite. — Brewstérite.

2° SILICATES HYDRATÉS À BASE DE PROTOXYDE.

Dioptase. — Bertrandite. — Pectolite.

Talc.

Magnésite. — **Garniérite.** — Gymnite. — **Serpentine.** —

Chrysotile. — **Antigorite.** — Marmotite.

Apophyllite. — Okénite. — **Dioptase.** — **Chrysocolle.**

3° SILICATES HYDRATÉS À BASE DE SESQUIOXYDE.

Anthosidérite.

Pyrophyllite.

Argiles.

III. SILICATES CONTENANT DES ACIDES DIVERS.

1° FLUO OU CHLORO-SILICATES.

Fluor. — **Topaze** (Rappel).

Leucophane. — Mélinophane.

Humite (Rappel).

Chlore. — Pyrosmalite. — Friedelite.

2° SULFOSILICATES.

Helvine (Rappel). — Danalite (Rappel).

3° SILICOBORATES.

Base protoxyde. — *Anhydres.* Danburite. — Homilite.

Hydraté. — **Datolite.**

Bases sesquiox et protox. — **Tourmaline.**

Axinite.

4° SILICO-ZIRCONATES-TITANATES-NIOBATES, ETC.

Sphène.

Zircon. — Auerbachite.

Eudyalite. — Võhlerite. — Catapléite.

Mosandrite. — Rinkite.

Thorite.

37e, 38e, 39e, 40e ET 41e LEÇONS.

III. — MÉTAUX.

1° FAMILLE DES MÉTAUX ALCALINS.

Chlorures. — **Sel gemme.** — **Sylvite.** — **Salmiac.**

Sulfates. — Thénardite. — Glasérite. — Mascagnine.

Mirabilite.

Carbonates. — Thermonatrite. — **Natron.** — Trona.

Azotates. — **Natronitre.** — **Nitre.**

Borate. — **Borax.**

2° FAMILLE DE L'ALUMINIUM.

ALUMINIUM. — FER (Fe^2).

Fluorures. — Fluellite. — **Cryolite.** — Pachnolite. — Chiolite.

Prosopite. — Thomsenolite. — Ralstonite.

Oxydes anhydres. — **Corindon.** — **Oligiste.**

Ilménite.

Hydrates. — **Diaspore.** — **Gœthite.** — **Acerdèse.**

Bauxite. — **Limonite.**

Hydrargillite.

Carbonate. — Dawsonite.

Sulfates. — Webstérite. — Felsöbanyite.

Coquimbite. — Utahite. — Copiapite. — Fibroferrite.

Aluns. — **Alunite.** — Jarosite.

Phosphates et Arséniates. — **Amblygonite.** — Durangite.

Scorodite. — Strengite. — Variscite. — **Turquoise.** — **Wawellite.** — Fischérite. — Péganite. — Béraunite. — **Dufrénite.** — Cacoxène. — Pharmacosidérite.

Borate. — Jereméiewite.

Mellate. — **Mellite.**

3° FAMILLE DES MÉTAUX BIATOMIQUES.

BARYUM. — STRONTIUM. — PLOMB.
CALCIUM.
MAGNÉSIUM. — FER (Fe). — MANGANÈSE. — ZINC. — CADMIUM. — NICKEL. — COBALT.
GLUCINIUM.

Métaux natifs. — **Fer.**

Sulfures, Tellurures, etc. — RS. — **Galène.** — Clausthalite. — Altaïte.

Blende. — **Wurtzite.** — Greenockite. — Alabandine. — Troïlite.

Pyrrothine. — **Millérite.** — Pentlandite. — **Nickeline.** — Breithauptite.

RS^2. — **Hauérite.** — **Pyrite.** — **Marcasite.** — Löllingite. — **Mispickel.**

Glaucodot. — Wolfachite. — Rammelsbergite. Spathiopyrite.

Cobaltine. — **Gersdorfitte.** — **Ullmannite.** — **Smaltine.** — **Chloanthite.**

Sulfosels. — Chiviatite.

Berthiérite.

Scléroclase. — **Zinckénite.** — Galénobismuthite. — Plagionite.

Dufrénoysite. — **Jamesonite.** — Cosalite.

Boulangérite. — Kobellite.

Jordanite. — Meneghinite.

Géocronite.

Kilbrickénite. — Beegerite.

Fluorures et Chlorures. — **Fluorine.** — Cotunnite. — Chlorocalcite. — Sellaïte. — Nocérin .

Bischoffite. — **Carnallite.** — Tachydrite. — Érythrosidérite. — Kremersite.

Chloroxydes. — Matlockite. — Mendipite. — Schwartzenbergite.

Oxydes. — **Périclase.** — Manganosite. — Bunsénite. — **Zincite.**

(Oligiste et Braunite. Rappel.)

Magnétite. — **Hausmannite.**

Polianite. — **Pyrolusite.** — **Psilomélane.**

Wad. — (Acerdèse et Göthite. Rappel). — **Brucite.** — Pyrochroïte.

Carbonates anhydres. — **Aragonite.** — **Withérite.** — **Strontianite.** — **Cérusite.**

Alstonite. — Barytocalcite.

Calcite. — **Giobertite.** — **Sidérose.** — **Dialogite.** — **Smithsonite.**

Dolomie, — **Ankérite.** — **Breunérite.**

Cobalt carbonaté.

Hydratés. — Hydromagnésite. — **Zinconise.**

Texasite. — Gay-Lussite.

Chloro ou Fluocarbonate. — **Phosgénite.**

Sulfates anhydres. — *Simples.* — **Barytine.** — **Célestine.** — **Anglésite.** — Barytocélestine.

Anhydrite.

Lanarkite.

Doubles. — **Glaubérite.**

Sulfates hydratés simples. — **Gypse.**

Epsomite. — **Kiésérite.** — Goslarite. — Morénosite. — Mélantérite.

Doubles. — Kaluszite. — Polyhalite. — Lœvéite. — Blœdite. — Picromerite.

Sulfocarbonate. — Leadhillite.

Chlorosulfate — Kaïnite.

Arsénites et Antimonites. — Roméine. — Nadorite.

Tungstates et Molybdates. — **Schéelite.** — Stolzite. — **Wulfénite.**

Wolfram. — Hubnérite. — Ferbérite. — Reinite.

Chromates. — **Crocoïse.** — Phœnicite.

Borates. — **Boracite.** — Ludwigite.

Hayésine. — Bechilite. — **Colemanite.** — **Pandermite.**

Hulexite. — Hydroboracite.

Aluminates, etc. — **Spinelles (Spinelle, Pléonaste, Picotite,** Hercynite, Gahnite, **Magnétite,** Magnésioferrite, Jacobsite, **Franklinite,** Dysluite, **Chromite).**

Cymophane.

Boroaluminate. — Rhodizite.

Phosphates, etc., anhydres. — Triphyline. — Berzeliite. — Atopite. — Dechenite. — **Apatite.** — **Pyromorphite.** — **Mimétèse.**

Vanadinite. — **Wagnérite.** — **Triplite.** — Herdérite.

Phosphates, etc., hydratés. — Fillowite. — Fairfieldite. — Rosétite. — Reddingite. — Hopéite. — **Vivianite.** — Symplésite. — **Erythrine.** — **Annabergite.** — Cabrérite.

Haidingérite. — Brushite. — Pharmacolite. — Newberyite. — Walplérite. — Hureaulite.

Ludlamite. — Triploïdite. — **Adamine.** — Chondro-arsénite. — Aimafibrite. — Aimatolite. — Allactite. — Descloizite. — Struvite. — **Lazulite.** — Childrénite. — Eosphorite. — Goyasite. — Arséniosidérite.

Sulfophosphates, etc. — Beudantite. — Diadochite.

Niobates et Tantalates. — Microlite. — **Columbite.** — **Tantalite.** — Tapiolite.

Titanates. — Ilménite (Rappel). — **Pérowskite.**

4° FAMILLE DU CÉRIUM.

CÉRIUM. — LANTHANE. — DIDYME, ETC.

Carbonate. — Lanthanite.

Chloro-carbonate. — Parisite.

Phosphates. — Xénotime. — **Monazite.**

Niobates, Tantalates, etc. — Fergusonite. — Yttrotantalite. — Koppite.

Titano-niobates, etc. — Dysanalyte. — Pyrochlore. — Œschynite. — Euxénite. — Polycrase. — Samarskite.

42e LEÇON.

5° URANIUM.

Oxyde. — **Péchurane.** — **Cleveite.**

Phosphates, etc. — Troegérite.

Autunite. — **Chalcolite.** — Uranocircite. — Uranospinite. — Zeunérite. — Walpurgine. — **Carnotite.**

6° MERCURE.

Mercure natif.

Sulfures. — **Cinabre.** — Métacinabre.

Guadalcazarite.

Séléniures. — Tiemannite.

Onofrite. — Lerbachite.

Tellurure. — Coloradoïte.

Chlorure. — Calomel.

7° CUIVRE.

Cuivre natif.

Sulfures, arséniures, etc. — *Simples.* — **Chalcosine.** — Berzeline.

Covelline. — Degenite.

Domeykite. — Algodonite.

Sulfures, etc. — *Doubles.* — **Chalcopyrite.** — **Phillipsite.** — Cubane. — Cuproblombite. — Zorgite.

Épigénite. — Énargite. — Clarite. — Famatinite.

Cuivres gris (Panabase, Tennantite). — Stylotype.

Bournonite.

Patrinite. — Wittichénite. — Binnite. — Klaprothite. — Wolfsbergite. — Emplectite. — Guéjarite.

Oxydes. — **Cuprite.**

Ténorite. — Mélaconite.

Oxychlorure hydraté. — **Atacamite.** — **Boléite.**

Carbonates. — **Chessylite.** — **Malachite.**

Sulfates. — Chalcantite. — Brochantite. — Langite.

Cyanochroïte. — Linarite. — Calédonite.

Chromate. — Vauquelinite.

Sélénite. — Chalcoménite.

Ferrite. — Delafossite.

Phosphates, Arséniates, etc. — **Liebethenite.** — **Olivénite.** — Volborthite. — Tagilite. — Euchroïte. — Erinite. — Lunnite. — Pseudomalachite. — Ehlite. — Tirolite. — Motramite. — Aphanésite.

Liroconite. — Chalcophyllite. — Mixite. — Chalcolite. — Zeunérite.

Arsénite. — Trippkéite.

8° ARGENT.

Argent natif.

Amalgames. — **Arquérite.** — **Amalgame.**

Sulfures, séléniures, etc. — *Simples.* — **Argyrose.** — **Acanthite.**

Dyscrasite.

Argent sélénié.

Hessite.

Doubles. — Stromeyerite. — Jalpaïte. — Eucairite.

Sternbergite. — Frieséite. — Argentopyrite.

Polyargyrite. — **Polybasite.** — **Stéphanite.** — **Argents rouges.** (Pyrargyrite, Proustite). — Freieslebenite. — Diaphorite. — Miargyrite. — Xanthocon.

Chlorures, etc. — **Cérargyrite.** — **Bromargyrite.** — **Embolite.**

Iodargyrite. — Iodobromite.

9° OR.

Or natif.

Amalgame d'or.

Tellurures. — **Sylvanite.** — Krennérite. — **Nagyagite.**

10° PLATINE.

Platine natif.

Arséniure. — Sperrylite.

11° IRIDIUM, OSMIUM, PALLADIUM, RUTHÉNIUM.

Iridium natif. — Palladium natif.

Osmiures d'iridium.

Sulfure. — Laurite.

LEÇONS DE PÉTROGRAPHIE.

M. TERMIER,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, PROFESSEUR.

1re LEÇON.

Définition, objet, histoire, méthodes de la pétrographie. — Examen rapide des méthodes autres que la méthode micrographique. — Étude macroscopique; procédés de séparation des minéraux; essais chimiques; essais microchimiques.

Méthode micrographique : principe; appareils; conditions auxquelles doit satisfaire le microscope.

2e LEÇON.

Examen en lumière parallèle polarisée, non analysée, ou *lumière naturelle :* corps opaques, colorés, incolores; polychroïsme; clivages; forme des sections; appréciation de la réfrigérence; procédé de Becke: appareil de M. Wallerant.

3e LEÇON.

Examen en lumière parallèle polarisée et analysée, ou en polarisation chromatique. — Appréciation de la biréfringence. — Dispersion. — Mesure des extinctions. — Positions d'éclairement commun. — Signe des directions d'extinction.

4e LEÇON.

Examen en lumière convergente. — Difficultés inhérentes à cet examen. — Détermination du signe d'une bissectrice. — Appré-

ciation de la grandeur de l'angle des axes optiques. — Observation de la dispersion des axes.

Caractères optiques des principaux minéraux des roches, autres que les feldspaths : quartz, pyroxènes, amphiboles, micas, péridots, feldspathides, etc.

5e ET 6e LEÇONS.

Propriétés micrographiques des feldspaths. — Épures de M. Michel-Lévy. — Méthodes diverses de diagnostic. — Recherche des sections (010), des sections perpendiculaires aux bissectrices, des sections perpendiculaires à (010). — Utilisation de l'assemblage de Carlsbad. — Feldspaths zonés.

Roches éruptives. — Généralités. — Composition chimique. — Structure. — Diagrammes représentatifs de la composition. — Division en trois grandes classes géologiques : roches abyssiques, roches hypo-abyssiques, roches d'épanchement.

7e, 8e ET 9e LEÇONS.

Roches abyssiques : granites, syénites, syénites néphéliniques, diorites, gabbros, théralites et malignites, ijolites, péridotites.

Roches hypo-abyssiques : porphyres et trachytes à structure microgranitique (microgranites, microsyénites, microdiorites); aplites et pegmatites; lamprophyres.

Roches d'épanchement : porphyres quartzifères et rhyolites; porphyres non quartzifères (orthophyres, albitophyres) et trachytes; phonolithes, leucophonolithes, leucitophyres; dacites; porphyrites et andésites; mélaphyres et basaltes; diabases et diabase-porphyrites; téphrites et leucotéphrites; leucitites, néphélinites et mélilitites; limburgites et augitites.

Essais de synthèse. — Météorites.

10e LEÇON.

Roches métamorphiques. — Plusieurs sortes de métamorphisme. — Exemples de sédiments devenus cristallins, de roches éruptives recristallisées.

Roches cristallophylliennes : gneiss, micaschistes, chloritoschistes, leptynites, cipolins, amphibolites, pyroxénites, serpentines. — Théories sur la genèse des terrains cristallophylliens.

COURS DE PALÉONTOLOGIE.

M. DOUVILLÉ,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, PROFESSEUR.

1re LEÇON.

OBJET DU COURS.

Les sciences géologiques cherchent à reconstituer l'histoire de la terre depuis la fin de la période cosmique jusqu'à l'époque actuelle.

Apparition possible et probable de la vie dès que la surface du globe a atteint la température de 70 degrés.

Conservation de certaines parties des organismes vivants par leur enfouissement dans les sédiments en voie de formation; modifications dans leur nature par la *fossilisation*.

Age relatif des fossiles : les faunes se succèdent partout dans le même ordre; l'échelle des terrains représente la chronologie géologique.

La dernière période est la période actuelle; l'étude des animaux fossiles ne peut être séparée de celle des animaux vivants; la paléontologie emploie les mêmes méthodes de classification et de nomenclature que l'histoire naturelle.

Distribution du règne animal en ses embranchements, classes et ordres. Les ordres se divisent eux-mêmes en familles, genres et espèces.

Nomenclature binominale par le nom de genre et le nom d'espèce.

La paléontologie met en évidence les modifications successives éprouvées dans la série des temps géologiques par les animaux et

les végétaux, elle permet ainsi de reconstituer *l'histoire des êtres vivants.*

Lois de la paléontologie :

1° Apparition successsive de types nouveaux de plus en plus spécialisés;

2° Persistance plus ou moins longue des types anciens;

3° Le développement ontogénique reproduit en abrégé le développement phylogénique.

Comme conséquence de ces lois, on doit considérer comme probable que la vie a apparu à la surface de la terre sous la forme d'être monocellulaires, *Protistes,* d'où dérivent par spécialisation les végétaux et les animaux primitifs (*Protozoaires*).

2e LEÇON.

RÈGNE DES PROTOZOAIRES.

CLASSE DES RHIZOPODES.

Ordre des *Radiolaires.* Animaux monocellulaires entourés de une ou plusieurs coques siliceuses grillagées : *Sphéroïdés, Prunoïdés, Discoïdés, Cyrtoïdés.*

Ordre des *Foraminifères.* Animaux monocellulaires ou homocellulaires sécrétant une coquille uni — ou multiloculaire, de nature chitineuse, calcaire ou arénacée.

1° F. imperforés : I, *Lituolidés* (Placopsilina); II, *Miliolidés* (Biloculina, Triloculina, Quinqueloculina, Fabularia); III, *Pénéroplidés* (Peneroplis, Archiacina, Alveolina);

2° F. perforés : I, *Globigérinidés* (Orbulina, Globigerina); II, *Lagénidés* (Lagena, Nodosaria, Dentalina, Cristellaria); III, *Polymorphidés* (Clavulina); IV, *Rotalidés* (Rotalia, Operculina, Assilina, Nummulites, Fusulina);

3° F. réticulés : Orbitolites, Orbitolina, Orbitoïdes.

3e LEÇON.

RÈGNE DES MÉTAZOAIRES.

Segmentation de l'œuf aboutissant à la phase *Morula*, puis différenciation des cellules ectodermiques et endodermiques aboutissant à la formation d'une cavité interne.

EMBRANCHEMENT DES ZOOPHYTES.

Pas de système nerveux.

CLASSE DES SPONGIAIRES.

Réseau de canaux traversant le corps de l'animal partant des pores inhalants (externes) pour aboutir aux pores exhalants (internes) et traversant les chambres ou corbeilles tapissées par les cellules flagellées. — Oscules. — Spicules cornés, siliceux ou calcaires, monoaxes, triaxes ou tétraxes :

1° *Éponges gélatineuses :*

2° *Ép. cornées* (Euspongia);

3° *Ép. siliceuses,* Monactinellides, Tétractinellides et Lithistides (Chenendopora, Siphonia, Jerea), Hexactinellides (Archaeocyathus?, Craticularia, Coscinopora, Guettardia, Ventriculites, Plocoscyphia);

4° *Ep. calcaires* (Eudea, Verticillites).

4e LEÇON.

CLASSE DES POLYPIERS.

Animaux fixés, tentacules en couronne autour de la bouche, cavité centrale divisée par des cloisons centripètes.

1° Ordre des Alcyonaires : I, *Corallidés* (Corallium); II, *Tubiporidés* (Tubipora, Aulopora, Syringopora, Halysites); III, *Favo-*

sitidés (Favosites, Pleurodictyum); IV, *Hélioporidés* (Heliopora. Heliolites);

2° Ordre des Zoanthaires tétragonaux : I, *Cyathaxonidés* (Cyathaxonia); II, *Zaphrentidés* (Amplexus, Streptelasma, Zaphrentis); III, *Cyathophyllidés* (Cyathophyllum, Omphyma); IV, *Cystiphyllidés* (Cystiphyllum); V, *Goniophyllidés* (Goniophyllum, Calceola);

3° Ordre des Zoanthaires hexagonaux : I, *Turbinolidés* (Turbinolinés : Turbinolia, Flabellum; — Caryophyllinés : Cariophyllia, Discocyathus; — Trochocyathinés (Trochocyatus, Thecocyathus); II, *Eupsammidés* (Eupsammia, Stephanophyllia, Dendrophyllia); III, *Oculinidés* (Enallohelia, Oculina); IV, *Eusmilidés* (Axosmilia, Pleurosmilia, Trocosmilia, — Eusmilia, Rhipidogyra, Stylina); V, *Astréidés* (Montlivaultia, Thecosmilia, Aspidiscus, Meandrina, Astrea, Stylastrea, Isastrea); VI, *Fungidés* (Lophosérinés : Cyclolites, Trochoseris, Cyathoseris, Thamnastrea; — Funginés : Fungia Micrabacia, Anabacia); VII, *Poritidés* (Porites, Litharea, Protarea, Stylarea, Pleurodictyum, Madrepora).

5e LEÇON.

EMBRANCHEMENT DES RAYONNÉS.

Animaux présentant un système nerveux rayonnant.

SOUS-EMBRANCHEMENT DES MÉDUSOÏDES.

CLASSE DES HYDROMÉDUSES.

1° Ordre des Campanulaires;

2° Ordre des Graptolithes : I, *Monograptidés* (Monograptus, Rastrites, Cyrtograptus, Cœnograptus); II, *Dichograptidés* (Bryograptus, Didymograptus, Tetragraptus, Dichograptus); III, *Diplograptidés* (Climacograptus, Diplograptus); IV, *Phyllograptidés* (Phyllograptus); V, *Retiolitidés* (Retiolites).

3° Ordre des *Hydrocorallines* (Hydractinia, Stromatopora, Mille-

pora, Axopora, Allopora, Cryptohelia, Stylaster). Cet ordre comprend en outre très probablement une partie des *Cérioporidés* et les *Chætetidés* (Chœtetes, Monticulipora).

CLASSE DES ACALÈPHES.

6e LEÇON.

SOUS-EMBRANCHEMENT DES ÉCHINODERMES.

CLASSE DES CRINOIDES.

Ordres des Blastoïdes (Pentremites), des Cystides et des Eucrinoïdes : I, *Encrinidés;* II, *Apiocrinidés* (Apiocrinus, Millericrinus); III, *Pentacrinidés;* IV, *Comatulidés* (Antedon); V, *Tessellés* (Marsupites).

CLASSE DES ASTÉRIDES.

Ordres des Stellérides et des Ophiures.

CLASSE DES HOLOTHURIES.

CLASSE DES ECHINIDES.

1° Ordre des Réguliers : Sous-ordre des *Paléchinides* (Melonites); sous-ordre des *Euéchinides* : I, *Cidaridés* (Cidaris, Hemicidaris); II, *Salénidés* (Salenia, Acrosalenia); III, *Diadématidés* (Hypodiadema, Diademopsis, Pseudodiadema, Pedina, Cyphosoma, Glypticus, Acrocidaris).

7e LEÇON.

2° Ordre des Irréguliers : I, *Echinoconidés* (Pygaster, Holectypus, Discoïdea, Echinoconus); II, *Clypéastridés* (Clypeaster, Scutella, Amphiope); III, *Cassidulidés* (Galeropygus, Hyboclypeus, Clypeus, Echinobrissus, Pygurus, Echinanthus, Echinolampas); IV, *Collyritidés* (Collyrites, Dysaster, Metaporhinus); V, *Echinocorydés* (Holaster, Hemipneustes, Echinocorys); VI, *Spatangidés* (Echinospatangus, Epiaster, Hemiaster, Micraster, Linthia, Schizaster, Euspatangus).

8e LEÇON.

EMBRANCHEMENT DES MOLLUSQUES.

Animaux à symétrie bilatérale, non métamérisés.

SOUS-EMBRANCHEMENT DES MOLLUSCOÏDES.

CLASSE DES BRYOZOAIRES.

1° Ordre des *Cyclostomes* ou *Tubulinés* (Stromatopora, Proboscina, Reptotubigera, Berenicea, Discosparsa, Defrancia, Diastopora, Filisparsa, Idmonea, Spiropora, Terebellaria, Nodelea, Osculipora, Fasciculipora, — Acanthocladia, Pseudohornera, Penniretepora, Fenestella, Archimedes, Ptylodictya).

2° Ordre des *Chilostomes* ou *Cellulinés* (Hippothoa, Membranipora, Lepralia, Retepora, Eschara, Biflustra, Cellepora, Lunulites, Vincularia).

Le troisième ordre, celui des *Foraminés,* paraît devoir être attribué en grande partie aux Hydrocorallines.

9e LEÇON.

CLASSE DES BRACHIOPODES.

1° Ordre des Inarticulés : I, *Lingulidés* (Lingula, Obolus, Discina; II, *Craniidés.*

2° Ordre des Articulés : I, *Orthisidés* (Orthis, Orthotetes, Leptæna, Strophomene); II, *Productidés* (Chonetes, Productus); III, *Pentaméridés*; IV, *Rhynchonellidés* (Atrypa, Rhynchonella, Acanthothyris).

10e LEÇON.

V, *Spiriféridés* (Spirifer, Spiriferina, Uncites, Athyris, Retzia, Meristella, Merista); VI, *Térébratulidés* (1° Terebratulinés : Dielasma, Terebratula, Liothyrina, Dictyothyris, Glossothyris, Pygope, Terebratulina; — 2° Waldheimiinés : Cœnothyris, Zeilleria,

Aulacothyris, Eudesia, Waldheimia, Terebratella, Megerlea, Kingena, Magas).

VII, *Argiopidés* (Stringocephalus, Argiope, Thecidea).

11e ET 12e LEÇONS.

SOUS-EMBRANCHEMENT DES MOLLUSQUES PROPREMENT DITS.

CLASSE DES LAMELLIBRANCHES.

1° Ordre des Taxodontes : I, *Arcidés* (Arca, Cucullea, Pectunculus, Limopsis) : II, *Nuculidés* (Nucula, Redonia, Cucullella, Leda).

2° Ordre des Dysodontes : I, *Ptérinéidés*; II, *Aviculidés* (Monotis, Daonella, Halobia, Avicula); III, *Pernidés* (Gervillia, Hœrnesia, Perna); IV, *Inocéramidés* (Inoceramus, Aucella).

V, *Mitylidés* (Mitylus, Modiola, Pinna).

VI, *Pectinidés* (Aviculopecten ; — Eopecten, Pecten, Chlamys, Vola, — Hinnites, — Plesiopecten, Neithea, Spondylus); VII, *Limidés* (Plagiostoma, Lima, Ctenostreon, — Heligmus); VIII, *Plicatulidés;* IX, *Ostréidés* (Liogryphea, Pycnodonta, Ostrea, — Lopha, Alectryonia, — Exogyra).

3° Ordre des Cryptodontes (Paléoconques) : I, *Antipleuridés* (Antipleura, Pleurodonta, Prœlucina); II, *Cardiolidés* (Cardiola); III, *Posidoniidés.*

13e ET 14e LEÇONS.

4° Ordre des Hétérodontes : I, *Unionidés* (Guerangeria, Anthracosia, Unio); II, *Trigonidés* (Lydrodesma, Schizodus, Myophoria, Trigonia).

III, *Cardiniidés;* IV, *Astartidés* (Megalodon, Pachyrisma, Prœconia, Astarte, — Crassatella); V, *Carditidés* (Cardita); VI, *Congériidés* (Dreissensia, Congeria); VII, *Lucinidés* (Corbis, Lucina); VIII, *Cardiidés;* IX, *Rudistes* (Formes normales : Diceras, Heterodiceras, Requienia, Toucasia, Apricardia, Chama. — Formes inverses : Monopleura, Polyconites, Gyropleura, Horio-

pleura, Caprotina, Caprina, Caprinula, Plagioptychus, Hippurites, Radiolites, Sauvagesia, Ichthyosarcolithus, Biradiolites, Lapeyrousia); X, *Cyrénidés;* XI, *Cyprinidés.*

XII, *Vénéridés* (Venus, Cytherea).

5° Ordre des Desmodontes : I, *Grammysidés;* II, *Pholadellidés;* III, *Pholadomyidés;* IV, *Arcomyidés* (Arcomya, Goniomya); V, *Pleuromyidés.*

VI, *Céromyidés* (Ceromya, Gresslya); VII, *Myidés* (Mya, Corbula); VIII, *Thraciidés;* IX, *Mactridés.*

15e LEÇON.

CLASSE DES PTÉROPODES.

(Tentaculites, Hyolites, Conularia).

CLASSE DES GASTROPODES.

Sous-classe des Tubulés : *Scaphopodes* (Dentalium).

Sous-classe des Multivalves : *Chitonidés* (Eochiton).

Sous-classe des Univalves :

1° Ordre des Prosobranches.

Sous-ordre des Scutibranches : I, *Fissurellidés* (Bellerophon, Porcellia, Emarginula, Rimula, Fissurella); II, *Turbinidés* (Murchisonia, Pleurotomaria, Haliotis, — Turbo, Trochus, Delphinula, Horiostoma); III, *Phasianellidés;* IV, *Neritidés* (Naticopsis, Naticella, Neritina, Velates, Nerita, Neritopsis);

Sous-ordre des Cyclobranches : Patellidés.

Sous-ordre des Pectinibranches : I, *Capulidés* (Orthonychia, Platyceras, Acrocylia, Onustus, Calyptræa, Xenophora, Hipponyx); II, *Solariidés* (Evomphalus, Straparollus, Bifrontia, Solarium); III, *Littorinidés* (Holopea, Littorina, Eucyclus, Purpurina).

16e LEÇON.

IV, *Paludinidés* (Vivipara, Tylostoma, Bythinia); V, *Ampullariidés;* VI, *Hydrobiidés* (Hydrobia, Nystia, Pyrgula, Pyrgidium); VII, *Na-*

ticidés (Pseudamaura, Amauropsis, Ampullina, Deshayesia, — Gyrodes, — Naticina, Natica, — Cepatia); VIII, *Pseudomélaniidés* (Pseudomelania, Bourguetia, Bayania); IX, *Mélaniidés* (Melania, Melanopsis); X, *Turritellidés* (Loxonema, Turritella, Mesalia, Protoma); XI, *Vermétidés;* XII, *Scalariidés;* XIII, *Pyramidellidés;* XIV, *Eulimidés;* XV, *Rissoidés;* XVI, *Cérithidés* (Cerithium, Campanile, Bittium, — Pirenella, Potamides, Lampania).

17e LEÇON.

XVIII, *Chénopidés* (Spinigera, Anchura, Rostellaria, Alaria, Harpagodes, Malaptera, Chenopus); XIX, *Strombidés* (Strombus, Pterocera, Terebellum, Seraphs); XX, *Purpuridés* (Purpurina, Purpuroidea, Purpura), XXI, *Volutidés* (Mitra, Voluta, Cryptochorda, Harpa); XXII, *Doliidés;* XXIII, *Cypréidés;* XXIV, *Olividés* (Oliva, Ancillaria); XXV, *Conidés;* XXVI, *Buccinidés* (Pseudoliva, Buccinum, Nassa, Terebra); XXVII, *Muricidés;* XXVIII, *Fusidés* (Fusus, Tudicla, Melongena, Neptunea, Fasciolaria, Pleurotoma).

2° Ordre des Pulmonés. Ce groupe paraît hétérogène, comme en général tous ceux qui correspondent à une adaptation à des circonstances spéciales : I, *Hélicidés* (Helix, Bulimus, Achatina, Lychnus, Pupa, Clausilia); II, *Limnéidés* (Limnea, Physa, Planorbis, Auricula); III, *Cyclostomidés*,

3° Ordre des Opisthobranches : sous-ordre des *Nudibranches;* sous-ordre des *Tectibranches :* I, *Bullidés;* II, *Actéonidés* (Acteonina, Acteon, Acteonella, Volvulina, Avellana, Ringicula); III, *Nérinéidés* (Nerinea, Ptygmatis, Trochalia, Itieria, Cryptoplocus).

18e LEÇON.

CLASSE DES CÉPHALOPODES.

Ordre des Dibranches; sous-ordre des Octopodes : *Octopodidés* et *Argonautidés*.

Sous-ordre des Décapodes : *Loliginidés* (Sepioteuthis, Beloteuthis, Geoteuthis, etc.); *Sépiidés* (Belosepia), *Spirulidés* (Spirula, Spirulirostra, Beloptera, Vasseuria).

Bélemnitidés (Pachyteuthis, Megateuthis, Dactyloteuthis, Belemnopsis, Pseudobelus, — Actinocamax, Gonioteuthis, Belemnites, — Duvalia); *Aulacocératidés*.

Sous-ordre des Ammonées : tribu des *Clyméninés*.

Tribu des *Goniatinés* (Bactrites, — Anarcestes, Tornoceras, Sandbergeroceras, — Beloceras, — Aganides, Goniatites, — Glyphioceras, Prolecanites).

Tribu des *Ammonitinés* :

Arcestidés (Arcestes, Joannites, Cladis-cites).

Pinacocératidés (Pinacoceras, Beneckeia); *Sagecératidés* (Medlicottia, Sageceras).

Phyllocératidés (Monophyllites, Phylloceras, Rhacophyllites, Puzosia, Desmoceras).

Lytocératidés (Lytoceras).

19e, 20e ET 21e LEÇONS.

Cératitidés (Xenodiscus, Tirolites, Ceratites, Balatonites, Trachyceras).

Psilocératidés (Psiloceras).

Harpocératidés (Arietites, Echioceras, Cycloceras, Grammoceras, Lioceras, Hildoceras, Ludwigia, Hammatoceras, Sonninia); *Oppéliidés* (Lissoceras, Neumayria, Oppelia).

Amalthéidés (Schlotheimia, Polymorphites, Amaltheus, Oxynoticeras).

Cosmocératidés (Cosmoceras).

Aegocératidés (Aegoceras, Liparoceras, Deroceras, — Cœloceras, Sphaeroceras, Morphoceras).

Dactyliocératidés (Dactylioceras, Perisphinctes, Peltoceras, Parkinsonia, Pictonia, Waagenia, Aspidoceras).

Cardiocératidés (Macrocephalites, Cadoceras, Stephanoceras, Reineckia, — Cardioceras).

22e LEÇON.

Holcostéphanidés (Holcostephanus).

Acanthocératidés (Acanthoceras, Prionotropris, Mortoniceras).

Hoplitidés (Hoplites, Placenticeras, — Sonneratia, Sphenodiscus, Pachydiscus, — Schlönbachia).

Pulchelliidés (Pulchellia, Mammites, Stoliczkaia, Tissotia).

Les ammonites à enroulement anormal, ou irrégulier, forment un groupe hétérogène dont les éléments doivent être rattachés aux familles précédentes (Ancyloceras, Helicoceras, — Scaphites, Macroscaphites, — Crioceras, Toxoceras, Anisoceras, — Hamites, Hamulina, Ptychoceras, Baculites, — Heteroceras, Turrilites).

23e LEÇON.

Ordre des Tétabranches (Nautilides); Anatomie du Nautile.

Orthocératidés (Orthoceras, Endoceras, Actinoceras, Gomphoceras).

Gyrocératidés (Gyroceras, Ophidioceras, Cyrtoceras, Phragmoceras, Trochoceras).

Nautilidés (Nautilus, Cenoceras, Cymatoceras, Trematodiscus, Hercoglossa, Aturia).

24e LEÇON.

EMBRANCHEMENT DES ANNELÉS.

Le corps est composé d'une série d'anneaux ou métamères.

SOUS-EMBRANCHEMENT DES ARTHROPODES.

1° Trachéens :

CLASSE DES INSECTES.

Paleoblattina du Silurien moyen, Phasmiens et Blattes du terrain houiller, Libellules de Solenhofen, Insectes d'Aix, Insectes de l'ambre.

CLASSES DES MYRIAPODES ET DES ARACHNIDES.

Paleophonus et Proscorpius du Silurien supérieur.

2° Branchifères :

CLASSE DES CRUSTACÉS.

Ordres des *Isopodes* et des *Amphipodes*.

Ordre des Décapodes : *Macroures* (Pemphyx Lesueuri), *Brachyures* et *Anomoures*.

Ordre des *Mérostomiens*, comprenant des types anciens moins spécialisés, et encore représenté par la Limule (Sous-ordre des *Xiphosures*).

Sous-ordre des *Euryptéres* (Limuloidés, Euryptéridés, Harpidés).

Sous-ordre des *Trilobites* : composition du têt; la disposition des pattes céphaliques rappelle tout à fait celle que l'on observe dans le sous-ordre précédent : *Paradoxidés* (Olenellus, Paradoxides, Sao, Conocephalites, Olenus); *Calyménidés* (Calymene, Homalonotus).

25ᵉ LEÇON.

Phacopidés (Phacops, Dalmanites, Cryphaeus); *Proétidés* (Proetus, Phillipsia); *Illœnidés* (Illœnus, Bumastus); *Lichasidés; Asaphidés* (Asaphus, Isotelus, Ogygia); *Trinucléidés* (Trinucleus).

Cérauridés (Ceraurus, Placoparia); *Acidaspidés, Goldiidés.*

Agnostidés.

26ᵉ LEÇON.

Crustacés bivalves : Ordre des *Phyllopodes* (Leptostracés, Phyllocaridés, Esthéridés).

Ordre des *Ostracodes* : *Cythéridés* (Cythere, Primitia, Beyrichia, Leperditia); *Cypridinidés* (Cypridina, Entomis); *Cyprididés* (Paleocypris, Cypris).

Crustacés multivalves : Ordre des *Cirripèdes* (Lepas, Scalpellum, Pollicipes, Balanus).

SOUS-EMBRANCHEMENT DES VERS.

Paraît représenter un type très ancien et ayant des affinités non seulement avec les Annelés et peut-être même avec les animaux supérieurs, mais encore avec les Mollusques et les Molluscoïdes, au moins au point de vue embryogénique.

CLASSE DES ANNÉLIDES.

Ordre des Tubicoles ou *Serpulidés* (Serpula, Galeolaria, Spirorbis, Vermilia, Ditrypa).

Conodontes.

Empreintes physiologiques : *Tigillites, Cruziana* (Bilobites), *Oldhamia.*

27e LEÇON.

EMBRANCHEMENT DES VERTÉBRÉS.

CLASSE DES POISSONS.

Ordre des *Placodermes* (Cephalaspis, Pteraspis, Pterichthys, Asterolepis, Coccosteus).

Ordre des Chondroptérygiens; sous-ordre des Plagiostomes : *Sélacidés,* sans Ichthyodorulithes (Carcharias, Corax, Galeocerdo, Notidanus, Hemipristis, — Otodus, Oxyrhina, Lamna) ou avec Ichthyodorulithes (Onchus, Hybodus, Psammodus, Strophodus, Acrodus, Ptychodus, Cestracion); *Rajidés* (Pristis, Raja, Myliobatis).

Sous-ordre des Holocéphales; *Chiméridés* (Rhynchodus, Ischyodus).

Ordre des Ganoïdes : *Ctenodiptéridés; Dipnoés* (Ceratodus, Protopterus, Lepidosiren); *Ganoïdes cyclifères* (Holoptychius, Dendrodus); *Ganoïdes rhombifères* (Polypterus, Lepidosteus, Lepidotus, Amblypterus, Paleoniscus, Megalichthys); *Picnodontidés.*

Ordre des Téléostéens.

Ordre des Cyclostomiens.

Ordre des Leptocardiens.

28e LEÇON.

CLASSE DES REPTILES.

1° Sous-classe des Amphibiens; Ordre des Paléobatraciens : *Branchiosauridés* (Protriton); *Archégosauridés* (Archegosaurus, Actinodon); *Labyrinthodontes* (Mastodonsaurus, Chirotherium).

2° Reptiles proprement dits :

Ordre des Paléolacertiens (Aphelosaurus, Proterosaurus).

Ordre des Paléocrocodiliens : *Bélodontidés; Téléosauridés* (Teleosaurus, Steneosaurus, Machimosaurus), à vertèbres biconcaves ou convexo-concaves.

Ordre des Crocodiliens à vertèbres concavo-convexes.

Ordre des Chéloniens.

Ordre des Ophidiens.

Ordre des Dinosauriens : *Mégalosauridés; Iguanodontidés; Dicynodontes* (Galesaurus, Cynodraco, Dicynodon, Oudenodon).

Ordre des Ptérosauriens (Ramphorhynchus, Pterodactylus, Pteranodon).

Les Enaliosauriens ou Reptiles nageurs constituent, comme les Mammifères marins, un groupe hétérogène correspondant à une adaptation spéciale de types très divers.

Ordre des Ichthyosauriens.

Ordre des Plesiosauriens (Nothosaurus et Simosaurus du Trias, Plesiosaurus, Pliosaurus et Polyptychodon, Placodus, etc.).

Ordre des Mosasauriens.

29e, 30e ET 31e LEÇONS.

CLASSE DES OISEAUX.

Certaines formes fossiles présentent des caractères anormaux qui les rapprochent des Reptiles : type à longue queue (Archæopteryx); type à bec garni de dents (Hesperornis, Ichthyornis).

Gastornis, Æpyornis, Apteryx.

CLASSE DES MAMMIFÈRES.

A. PAUCIDENTÉS.

Promammalia, Mammifères paucidentés, toujours herbivores.

I. — Ordre des *Proherbivora* (Tritylodon du Trias, Plagiaulax du Purbeck, Neoplagiaulax de l'Éocène, Bettongia, Kanguroos, Echidné, Ornithorynque de l'Australie).

II. — Ordre des *Rongeurs,* Plantigrades unguiculés à incisives très développées, dents à tubercules ou à lamelles (Sciurus du gypse, Steneofiber du Miocène, Trogontherium, Lepus, Mus, etc.).

III. — Ordre des *Proboscidiens,* incisives analogues à celles des Rongeurs, mais transformées en défenses : — dents tapiroïdes : Dinotherium du Miocène ; — dents à tubercules : Mastodon, Miocène et Pliocène en Europe, jusqu'au quaternaire en Amérique ; — dents à lamelles : Elephas.

B. MULTIDENTÉS.

I. — *Eumammalia,* ou mammifères multidentés, unguiculés et à extrémités pentadactyles.

Ordre des *Proinsectivores* multidentés ou insectivores primitifs,

ayant des affinités avec les Marsupiaux (Amphitherium, Phascolotherium du Bathonien, Spalacotherium du Purbeck) ou avec les Insectivores (Stylacodon, Dryolestes du Parbeck).

Ordre des *Marsupiaux* insectivores (Peratherium du Tertiaire, Didelphis de l'Amérique, Myrmecobius, Thylacinus, etc., de la Nouvelle-Hollande.

Ordre des *Insectivores* (Talpa, Sorex, Erinaceus), *Chiroptères.*

Ordre des *Carnivores :* 1° primitifs (Arctocyon, Hyænodon); 2° à dentition spécialisée et de plus en plus réduite (Cynodon, Ursus, Canis, Viverra — Mustela, Hyœna, Felis, Machairodus, Drepanodon).

Ordre des *Primates :* incisives réduites à deux, de chaque côté et à chaque mâchoire (Adapis du Tertiaire, à 40 dents, Lémuriens et Singes américains à 36 dents, Singes proprement dits à 32 dents apparaissant dans le Miocène, Homme apparaissant au commencement du quaternaire et caractérisé dès l'origine par les produits de son industrie, Silex taillés).

II. — *Pachydermes* ou Ongulés à extrémités spécialisées :

1° Extrémités du type périssodactyle (doigts en nombre impair) : Ordre des *Jumentés :* Coryphodon à 5 doigts; *Tapiridés* (Lophiodon, Pachynolophus, Tapirus) et *Rhinocéridés* à 3-4 doigts; *Paléothéridés* (Paleotherium, Paloplotherium, Anchitherium) à 3 doigts; *Equidés* (Hipparion, Equus) à 3-1 doigts.

2° Extrémités du type artiodactyle (doigts en nombre pair) : Ordre des *Bisulques : Suidés* (Chœropotamus, Anthracotherium, Sus), *Cœnotheridés* (Dichobune, Cœnotherium) à 4 doigts; *Anoplothéridés* (Anoplotherium, Xiphodon) à 2 doigts entièrement distincts.

Ruminants à 2 doigts partiellement soudés (métacarpiens et métatarsiens) : *Moschidés* (Gelocus, Hyæmoschus, Dremotherium);

Bovidés (Amphimoschus, Antilope, Bos, etc.); *Cervidés* (Dicrocerus, Cervus); *Camélidés.*

III. — Les *Mammifères marins* constituent un groupe hétérogène, correspondant à une adaptation particulière de certains des types précédents; ils sont tantôt à dentition normale :

Ordre des *Phoques,* carnivores.

Ordre des *Siréniens,* herbivores (Halitherium, Lamantin, Dugong).

Tantôt à dentition anormale :

Ordre des *Cétacés* (Zeuglodon de l'Eocène, Squalodon du Miocène, Cachalot, Dauphin, Narval, Baleine).

IV. — *Homodontes* (Édentés), formes régressives à dentition plus ou moins anormale (Dasypus de l'Oligocène, Macrotherium (Chalicotherium) de l'Oligocène et du Miocène, Ancylotherium, etc.). Ce groupe est très développé dans la partie sud de l'Amérique méridionale (Megatherium, Glyptodon, Dasypus).

32e LEÇON.

Distribution bathymétrique des mollusques marins dans les mers actuelles; son application à la détermination de la profondeur à laquelle les sédiments ont été déposés.

33e LEÇON.

Résumé du cours. Théorie de l'évolution.

34e LEÇON.

Détermination pratique des fossiles.

Ordre d'importance des caractères.

Caractères des embranchements et des classes; caractères génériques et caractères spécifiques.

LEÇONS DE PALÉONTOLOGIE VÉGÉTALE.

M. ZEILLER,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, CHARGÉ DE LEÇONS.

1re LEÇON.

Répartition inégale des végétaux fossiles dans les différentes formations. Utilité de l'étude des empreintes, surtout pour la détermination du niveau des couches de charbon. Divisions du terrain houiller.

Divers modes de conservation des plantes fossiles. Difficultés spéciales de leur classification.

Système suivi pour la classification des végétaux vivants; rappel des principales divisions, embranchements et classes du règne végétal; leurs caractères extérieurs.

Quelques mots sur les représentants fossiles des Cryptogames cellulaires : Algues, Characées, Champignons, Muscinées.

Caractères généraux des Cryptogames vasculaires.

CLASSE DES FOUGÈRES.

Division des Fougères vivantes en familles d'après les caractères des organes fructificateurs; mode de classification provisoire adopté pour les Fougères fossiles.

2e LEÇON.

Groupe des Sphénoptéridées : genres *Sphenopteris, Scleropteris, Dicksonia;* principaux types de fructification reconnus parmi les Sphénoptéridées houillères.

Groupe des Diplotmémées : genres *Diplotmema* et *Mariopteris.*

Groupe des Pécoptéridées : genres *Pecopteris, Callipteridium, Callipteris, Cladophlebis, Anomopteris, Andriania, Laccopteris;* principaux types de fructification des Pécoptéridées houillères.

Section des Aléthoptéridées : genres *Alethopteris* et *Lonchopteris.*

Groupe des Odontoptéridées : genre *Odontopteris.*

Représentants des Odontoptéridées et des Aléthoptéridées à l'époque secondaire, et formes qui peuvent en être rapprochées : genres *Ctenopteris, Dichopteris, Thinnfeldia, Lomatopteris, Cycadopteris;* leurs affinités avec d'autres groupes.

3ᵉ LEÇON.

Groupe des Névroptéridées : genres *Adiantites, Archæopteris, Cardiopteris, Nevropteris, Nevropteridium* et *Linopteris;* types de fructification observés chez quelques espèces de ce groupe.

Groupe des Ténioptéridées : genres *Tæniopteris* et *Danæopsis;* types de fructification observés.

Groupe des Dictyoptéridées : genres *Glossopteris, Gangamopteris, Dictyophyllum, Clathropteris:* types de fructification de ces derniers genres; formes vivantes analogues.

Groupe anomal des *Aphlebia:* leurs relations probables avec les Pécoptéridées.

Troncs de Fougères : genres *Caulopteris, Ptychopteris, Megaphyton, Psaronius;* leurs rapports mutuels. Tiges de Fougères arborescentes trouvées dans les terrains secondaires : genre *Protopteris.*

Cycadofilicinées : genres *Lyginodendron, Heterangium, Medullosa;* difficultés de leur interprétation définitive.

4ᵉ LEÇON.

CLASSE DES RHIZOCARPÉES.

Genres *Pilularia, Marsilia, Salvinia.* Genre fossile *Sagenopteris.*

CLASSE DES SPHÉNOPHYLLÉES.

Genre *Sphenophyllum;* caractères extérieurs; structure des tiges; fructification.

CLASSE DES ÉQUISÉTINÉES.

Représentants vivants de cette classe : genre *Equisetum;* constitution anatomique et caractères extérieurs; espèces fossiles principales.

Équisétinées paléozoïques : genres *Equisetites, Calamites, Asterocalamites;* Calamites à tige ligneuse : genres *Arthropitys* et *Calamodendron;* idées émises sur leur classement. Genres *Asterophyllites, Annularia.* Épis de fructification : genres *Calamostachys, Palæostachya, Macrostachya.*

Genres *Phyllotheca* et *Schizoneura.*

5e LEÇON.

CLASSE DES LYCOPODINÉES.

Ses représentants vivants : genres *Lycopodium, Selaginella, Isoetes.* Structure interne; organes de fructification.

Lycopodinées paléozoïques : Lépidodendrées et Sigillariées : genres *Lepidodendron, Lepidophloios, Halonia, Lepidostrobus, Lepidophyllum, Ulodendron, Bothrodendron, Knorria;* genre *Sigillaria,* sa division en deux sections : Sigillaires à côtes et Sigillaires sans côtes; genre *Sigillariostrobus.*

Genre *Stigmaria;* nature des Stigmaria.

6e LEÇON.

Gymnospermes : caractères généraux; structure des tiges, organes reproducteurs.

CLASSES DE CYCADINÉE.

Principaux genres vivants; caractères de leurs feuilles au point de vue de la forme et de la nervation. Appareils de reproduction. Représentants fossiles de cette classe : genres *Cycas, Cycadites, Cycadospadix, Zamites, tozamites, Dictyozamites, Ptilophyllum,*

Glossozamites, Sphenozamites, Sewardia, Plagiozamites, Nœggerathia, Podozamites, Pterophyllum, Dioonites, Pterozamites, Anomozamites, Nilssonia.

Tiges fossiles de Cycadinées. Fructifications : genres *Bennettites* et *Williamsonia.*

CLASSE DES CORDAÏTÉES.

Caractères généraux; ses affinités avec les Cycadinées et avec les Conifères : genres *Cordaites, Poacordaites, Dorycordaites, Nœggerathiopsis.*

Inflorescences et graines de Cordaïtes. Autres graines fossiles : genres *Trigonocarpus, Rhabdocarpus, Samaropsis,* etc.

7e LEÇON.

CLASSE DES SALISBURIÉES.

Genres *Ginkgo, Saportæa, Gingkodium, Rhipidopsis, Baiera, Ginkgophyllum, Czekanowskia, Dicranophyllum* et *Trichopitys.*

CLASSE DES CONIFÈRES.

Division des Conifères vivantes en familles : Cupressinées, Abiétinées, Araucariées, Taxodinées, Taxinées.

Principaux représentants fossiles des Cupressinées et des Abiétinées.

Araucariées et Taxodinées; analogies mutuelles de ces familles, considérées dans leurs rameaux et leurs organes foliaires. Genres *Walchia, Ullmannia, Voltzia, Albertia, Pagiophyllum, Brachyphyllum, Palissya;* organes fructificateurs de quelques-uns d'entre eux et place à leur attribuer. Représentants fossiles des genres *Araucaria, Sequoia, Taxodium, Glyptostrobus.*

Taxinées : genres *Taxus* et *Torreya.*

CLASSE DES GNÉTACÉES.

Indices de la présence des Gnétacées à l'état fossile.

8ᵉ LEÇON.

Angiospermes : caractères généraux; leur division en deux classes, *Monocotylédones* et *Dicotylédones*.

Premiers indices de leur existence : groupe problématique des Proangiospermes : genres *Daubreeia, Æthophyllum, Yuccites, Clathrophyllum.*

CLASSE DES MONOCOTYLÉDONES.

Quelques mots sur les familles les plus importantes, notamment sur les Palmiers : genres *Flabellaria, Sabal, Phœnicites, Cocoopsis.*

CLASSE DES DICOTYLÉDONES.

Difficultés de leur classification à l'état fossile; principaux types de nervation. Quelques mots sur les familles les plus importantes. Date de leur première apparition; leur développement à l'époque tertiaire.

Résumé de la constitution de la flore de chaque terrain, depuis le dévonien jusqu'au quaternaire.

Renseignements fournis sur le climat de la terre aux diverses époques par l'étude de la flore fossile; différenciation des climats; zones isothermes de la période tertiaire, leur déplacement graduel vers le Sud; température moyenne des régions arctiques pendant l'époque tertiaire. Conclusions générales de cette étude et questions qu'elle soulève.

COURS DE GÉOLOGIE.

M. MARCEL BERTRAND,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, MEMBRE DE L'INSTITUT, PROFESSEUR.

1re LEÇON.

Définition et but de la géologie. La géologie doit reconstituer l'histoire de la croûte terrestre. — Principaux problèmes : extensions successives des mers; modifications de la vie; dislocations de la croûte terrestre.

Histoire de la géologie. — Théories des anciens. — Travaux isolés et lente transformation des idées depuis le XVIe siècle. — Premières écoles géologiques : Werner et Hutton. — Période actuelle.

Progrès de la paléontologie et de la pétrographie. — Progrès de la stratigraphie générale : L. de Buch, Élie de Beaumont, M. Suess.

2e LEÇON.

Rapports de la géologie avec l'astronomie, la géodésie et la physique générale du globe.

Analyse spectrale; hypothèse de Laplace. — Influences possibles des variations astronomiques sur les climats.

Données géodésiques. — Forme de la terre; définition des surfaces de niveau. — Irrégularités constatées par les mesures d'arc et les observations pendulaires.

Densité de la terre. — Accroissement de la température à l'intérieur de la terre; degré géothermique.



Conclusions relatives à la fluidité primitive du globe; examen des objections.

3ᵉ LEÇON.

Rapports de la géologie avec la géographie générale.

Distribution des terres et des mers. — Forme des océans et distribution des profondeurs; forme des continents et distribution des reliefs.

Montagnes; définition. — Grandes chaînes de montagnes du globe. — Distinction des deux types de rivages; type pacifique et type atlantique; leur importance et leur répartition.

Chaînes d'îles du Pacifique.

Chaînes récentes et anciennes.

Hypothèse de Lowthian Green, réseau tétraédrique.

4ᵉ LEÇON.

Analyse des phénomènes actuels, devant servir de terme de comparaison pour les phénomènes anciens.

Dégradations de la surface.

Actions de la mer.

Action de l'eau en circulation dans l'atmosphère. — Pluie : infiltration, ruissellement.

Nappes souterraines; sources; puits artésiens. — Action dissolvante.

Actions à la surface; rôle de la désagrégation atmosphérique.

Cours d'eau; établissement du profil longitudinal par l'érosion; du profil transversal par le ruissellement (érosion pluviale). — Lois des phénomènes; expériences du colonel de la Noé.

Applications aux torrents. — Cascades. — Exemples de la Kander et du Simeto.

Façonnement des versants et dénudation des continents. — Éva-

luation du cube de matières entraînées; proportion des matières dissoutes et en suspension.

Glaciers. — Leur rôle restreint au point de vue de l'érosion.

5ᵉ LEÇON.

Dépôts à l'embouchure des cours d'eau. — Deltas lacustres. — Deltas et estuaires.

Dépôts marins. — Appareils littoraux. — Dépôts de plages, ripple marks.

Dépôts littoraux (terrigènes) : sables et graviers, boues et vases. — Extension de ces dépôts; temps nécessaire à leur formation d'après les dénudations actuelles.

Dépôts organiques : vases à Globigérines et à Radiolaires.

Argile rouge des grands fonds.

Constructions de Polypiers.

Dépôts chimiques; produits d'évaporation dans les bassins fermés ou les lagunes. — Gypse et sel.

Applications aux phénomènes géologiques anciens. — Définitions lithologiques des principales roches sédimentaires.

6ᵉ LEÇON.

Volcans. — Phénomènes qui accompagnent une éruption. — Différentes natures des laves et des gaz rejetés.

Rôle des gaz dans l'ascension des laves : éruptions tranquilles et violentes. — Stromboli, la Réunion, Kilauea, Java, Krakatoa.

Éruptions sous-marines : île Julia, Santorin.

Étude de la montagne formée : Vésuve, Etna. — Remparts cratériformes. — Théorie des cratères de soulèvement.

Phénomènes dérivant de l'activité volcanique : solfatares, geysers, suffioni. — Sources chaudes.

Rapports avec les remplissages des filons.

Salses et volcans de boue. — Bitume et pétrole.

Distribution des volcans.

Définitions lithologiques des principales roches éruptives.

7e LEÇON.

Tremblements de terre. — Recherche du centre d'ébranlement et vitesse de propagation.

Causes possibles des grands tremblements de terre; théories géogénique et volcanique.

Oscillations séculaires; déplacement des lignes du rivage. — Causes multiples de ces déplacements; variations du niveau du golfe de Bothnie et de la Baltique.

Terrasses marines. — Distribution géographique : zones des terrasses polaires et méditerranéennes. — Délimitation des zones d'affaissement et d'exhaussement à l'époque quaternaire; bassin d'affaissement du Pacifique. — Comparaison avec la délimitation de la zone de montagnes récentes.

Exemple de transgression marine tiré de la répartition des terrasses.

8e LEÇON.

Succession des périodes et des étages géologiques.

Principes de la description des étages : division de l'Europe en régions naturelles.

Chaîne alpine et îlots d'ancienne consolidation. — Schéma de la distribution des terrains dans une chaîne de montagnes; coupe des Alpes.

Chaîne hercynienne et bassins d'affaissement qui l'ont morcelée.

Chaîne calédonienne; continent arctique et équatorial.

Traits analogues et régions correspondantes en Amérique et en Asie.

9ᵉ LEÇON.

Terrains cristallophylliens. — Gneiss, micaschistes, amphibolites. — Leptinites, gabbros, cipolins.

Hypothèses sur le mode de formation des gneiss. — Exemples de gneiss provenant de la transformation de terrains sédimentaires. Gneiss permiens des Alpes; gneiss cambriens des Apallaches.

Gneiss du Plateau central, de la Bretagne, des Vosges, des Maures et des Alpes.

Région de la granulite de Saxe. — Gneiss de Scandinavie.

Phyllades; formations sédimentaires précambriennes. Discordances dans les régions septentrionales.

10ᵉ LEÇON.

Système cambrien et système silurien. — Caractères généraux de la faune.

Cambrien et silurien de la montagne Noire.

Silurien de Bretagne; comparaison avec le pays de Galles. — Ardennes. — Pyrénées; comparaison avec les Asturies.

11ᵉ LEÇON.

Types étrangers : Bohême. — Province bohémienne et province scandinave.

Le système silurien dans le nord de l'Europe et en Russie.

Provinces zoologiques cambriennes dans l'Amérique du Nord, transgression du cambrien supérieur; spécialisation déjà marquée de l'emplacement futur des Apallaches et des Montagnes Rocheuses.

Extension des mers paléozoïques sur l'Asie centrale.

Transgression du silurien supérieur, en Europe et dans la zone arctique.

Principales éruptions siluriennes : Angleterre, Bretagne, Norvège.

12e LEÇON.

Système dévonien. — Les Ardennes et le Boulonnais. — Bretagne. — Montagne Noire, Pyrénées et Asturies.

Distribution géographique générale. En Europe, facies détritiques du dévonien inférieur au nord et au sud, et développement des calcaires dans une bande centrale. Bohême; étage hercynien.

Trangression du dévonien moyen et supérieur.

Chaîne calédonienne; ses rapports avec la formation et l'extension du vieux grès rouge. — Principales éruptions dévoniennes : Écosse, Norvège.

13e LEÇON.

Système carbonifère. — Caractère général et divisions de la période : facies continentaux et pélagiques.

Étage dinantien : Ardennes et Boulonnais; Bretagne; Vosges; Plateau central et Pyrénées.

14e LEÇON.

Étage westphalien : le bassin houiller de la Belgique et du Nord.

15e, 16e ET 17e LEÇONS.

Étage stéphanien. — Bassins houillers du centre de la France. — Caractères généraux : discordances, épaisseur et irrégularité des couches; roches éruptives.

Bassin de Commentry; deltas lacustres. — Expériences de M. Fayol.

Bassins de la bordure méridionale : Saint-Étienne, Alais, Graissessac, Decazeville.

Bassins d'Épinac, de Blanzy et de Brassac.

Bassins de la zone centrale, Saint-Éloi et Ahun.

Bassins houillers des Vosges : Ronchamp.

Terrain houiller des Alpes.

Bassin de Saarbrück; concordance locale des étages westphalien et stéphanien.

18e LEÇON.

Le système carbonifère hors de France. — Distribution du calcaire carbonifère et du culm.

Bassins houillers du nord de l'Angleterre et de l'Écosse; barrière continentale entre le pays de Galles et le Brabant.

Chaîne hercynienne; établissement d'une période continentale sur tout l'est de l'Europe.

Bassins houillers du bord de la chaîne hercynienne.

Bassins houillers de Saxe, de Bohême et d'Espagne.

L'Amérique et l'Asie. — La mer houillère dans le Pacifique. — Continent équatorial : la flore *australo-indienne* et les traces supposées d'actions glaciaires.

Géographie générale de la période carbonifère.

19e LEÇON.

Système permien. — Schistes bitumineux et grès rouges. Analogies avec le vieux grès rouge dévonien.

Terrains permiens de Saarbrück et d'Autun. Bande du nord du Plateau central.

Terrains de l'Estrel. Bande du sud du Plateau central.

Mer permienne de Russie. Transgression du zechstein dans la région du nord; dépôts pélagiques dans la région méditerranéenne.

Permien métamorphique des Alpes. Principales éruptions permiennes.

20e LEÇON.

Système triasique. — Le trias dans le nord de l'Europe, facies continental et lagunaire. — Le trias de Lorraine; extension autour du Plateau central, dans la Provence et dans les Pyrénées.

Le trias alpin, les récifs du Tyrol, développement des Ammonites. — Extension du facies pélagique dans toute la région méditerranéenne et alpine; bordure lagunaire en Espagne et en Algérie. — Région intermédiaire; schistes lustrés des Alpes françaises.

Traits généraux de la géographique triasique.

Éruptions triasiques : Tyrol; roches vertes des Alpes; ophites des Pyrénées.

21e LEÇON.

Système jurassique. — Subdivisions; zones définies par les Ammonites.

Province du nord et province méditerranéenne. — Golfe anglo-parisien; son étendue à l'époque du lias. — Caractères uniformes, successivement vaseux et calcaires, des dépôts.

Coupe et description générale des terrains à l'est du bassin de Paris.

22e LEÇON.

Coupe et description générale des terrains jurassiques sur la côte normande.

Variations de facies et d'épaisseur aux différents points du bassin; facies côtiers des Ardennes et de la Bretagne. — Indices de deltas dans le sud de l'Angleterre, dans le nord de l'Écosse et dans le Yorkshire. — Golfe du Luxembourg.

Extensions intermittentes des argiles du nord vers le sud aux époques oxfordienne et kimmeridgienne; recul des constructions de Polypiers vers le sud. — Émersion progressive et lagunes purbeckiennes.

Passage à la région méditerranéenne : le Jura. Comparaison avec le Wurtemberg.

23e LEÇON.

Le terrain jurassique dans les Alpes françaises. Bord du massif des Maures et région provençale.

Bordure méridionale du Plateau central.

Le système jurassique dans la région méditerranéenne et dans les Alpes. — Fünfkirchen et le Banat.

Submersion de la plaine russe pendant le jurassique supérieur. — Facies continental en Asie.

Géographie générale de la période jurassique. — Communication marine entre la Méditerranée et la côte des Andes boliviennes. — Morcellement du continent indo-africain.

Éruptions jurassiques : les Andes.

24e LEÇON.

Système crétacé. — Subdivisions; zones définies par les Ammonites.

Description des étages crétacés dans le bassin de Paris. — Transgression cénomanienne. — Le rivage des Ardennes.

25e LEÇON.

Le crétacé dans le Jura et dans les Alpes françaises.

Ceinture urgonienne des Alpes. — Uniformisation des conditions de sédimentation à l'époque du gault.

Formation d'un bassin rhodanien dès le début du crétacé supérieur, avec développement des Rudistes (bassins d'Uchaux et du Beausset) et tendance progressive à l'émersion (bassin de Fuveau).

26e LEÇON.

Les dépôts crétacés dans l'Aquitaine.

Les Pyrénées. — Discussions relatives aux calcaires à Diceras. — Recul vers l'ouest et vers le sud des récifs à Chamacés à l'époque du gault. — Schistes et grès à fucoïdes. — Transgression des couches à Hippurites dans la région montagneuse. — Émersion finale : le garumnien.

La craie dans le nord-ouest de l'Europe et dans le sud de la Russie.

Région alpine; le flysch et le grès des Carpathes. — Couches de Gosau. — Biancone et scaglia.

Région méditerranéenne. — Rivage africain; le crétacé de l'Algérie.

Géographie générale de l'époque crétacée; formation du bassin méridional de l'Atlantique.

27e ET 28e LEÇONS.

Ère tertiaire. — Généralités sur la faune. — Divisions principales : éocène, oligocène, miocène et pliocène.

Description des couches du bassin de Paris; oscillations et avancées successives de la mer dans le golfe parisien.

La Belgique et le bassin de Londres. — Estuaire de la Tamise. — Transgression oligocène. — Lignites du nord de l'Allemagne.

29e LEÇON.

Le système éocène dans les Alpes et dans les Pyrénées. — Extension de la mer nummulitique.

Bordure septentrionale de la mer nummulitique dans le sud de la France. — Dépôts lacustres éocènes et oligocènes de la Provence et du sud du Plateau central.

Calcaires de la Limagne.

30e LEÇON.

Époque miocène. — Bassins de la Loire et de la Garonne. —

La mer molassique dans le bassin du Rhône et sur le pourtour des Alpes.

Bassin de Vienne.

Époque pliocène. — Le Roussillon, le bassin du Rhône et la Bresse.

Volcans de l'Auvergne et dépôts de Périer. — Glaciers pliocènes.

Dépôts pliocènes du nord de la France, de l'Angleterre et de la Belgique.

31ᵉ LEÇON.

Coup d'œil général sur la géographie et sur les modifications des reliefs pendant l'ère tertiaire.

Histoire de la Méditerranée miocène, pliocène et actuelle.

32ᵉ LEÇON.

Période quaternaire. — Variations de la faune et du climat. — Apparition de l'homme; silex taillés.

Mouvements de l'époque quaternaire. — Dépôts marins; terrasses.

Alluvions; lœss et limons.

Phénomènes glaciaires; Alpes et Pyrénées. — Régions septentrionales. — Deux grandes extensions glaciaires en Allemagne et en Amérique.

33ᵉ LEÇON.

Dislocations de l'écorce terrestre. — Glissements et failles.

Plis synclinaux et anticlinaux. — Plis droits, plis dissymétriques, plis couchés.

Étirement et amincissement des couches. — Plis-failles.

Failles d'affaissement. — Leur disposition sur les bords d'un bassin d'affaissement; sens du rejet.

Plis-failles, failles parallèles au plan des couches, surfaces et zones de glissements.

Failles tranversales, décrochements à déplacement horizontal.

Parallélisme des plis dans les chaînes de montagnes; combinaison des plissements avec les affaissements.

34e LEÇON.

Application au Jura et aux Alpes.

Définition de l'unité d'une chaîne; les couches de bordure, le massif central. — Comparaison des deux versants.

Lignes directrices du système alpin.

35e ET 36e LEÇONS.

Structure générale des Alpes suisses et françaises.

Rôle des grands plis couchés et des nappes de charriage.

Plis de la basse Provence.

37e LEÇON.

Comparaison avec les chaînes plus anciennes : l'Ardenne; la chaîne hercynienne.

Les Grampians; la chaîne calédonienne.

Échelonnement des phénomènes de plissement en Europe, du nord vers le sud. — Morcellement et tassement des chaînes; affaissements localisés. — Nouveaux ridements parallèles aux anciens; exemple du bassin de Paris.

38e LEÇON.

Liaison des phénomènes éruptifs avec les actions orogéniques.

Mode de gisement des granites; granites de Bretagne et du Plateau central.

Granites de la chaîne calédonnienne. — Granites de Christiania. — Syénites de Predazzo. — Granites tertiaires.

39e LEÇON.

Éruptions porphyriques.

Roches du lac Supérieur. — Roches précambriennes d'Angleterre et de Bretagne. — Diorites et diabases du Plateau central.

Porphyres de la chaîne calédonienne, siluriens et dévoniens. — Dernières venues basiques à l'époque carbonifère.

Porphyres de la chaîne hercynienne. — Succession des éruptions carbonifères dans le Plateau central. — Porphyres permiens des Vosges et de l'Estrel.

Localisation des éruptions à l'époque triasique.

40ᵉ LEÇON.

Distribution générale des roches tertiaires.

L'Auvergne. — Le Cantal, le mont Dore, le Velay. — La chaîne des Puys.

41ᵉ LEÇON.

La bordure d'éruptions du massif alpin : le Siebengebirge, l'Eifel, la Bohême.

Centres d'éruption intra-alpins : la Serbie et la mer Égée, la Hongrie, l'Italie.

Bords de l'Atlantique et de l'Océan Indien. — Éruptions des montagnes Rocheuses; laccolithes.

Considérations théoriques sur la répartition des roches. — Réseau tétraédrique. — Ancienne hypothèse d'une diminution progressive des forces cristallines.

42ᵉ LEÇON.

Résumé du cours; lacunes de nos connaissances.

Essais d'appréciation de la durée des temps géologiques. — Calculs sur le refroidissement terrestre; insuffisance des données.

Persistance de certains traits de la surface terrestre. — Coup d'œil général sur l'histoire du globe terrestre.

COURS DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE.

M. L. DE LAUNAY,

INGÉNIEUR DES MINES, PROFESSEUR.

1re LEÇON.

Objet du cours : Application pratique de la géologie à la recherche des substances minérales utiles (à l'exception des combustibles) et au captage des sources thermo-minérales.

1° *Côté pratique des problèmes étudiés :* Mise en valeur des richesses minérales; prévisions rationnelles sur la direction à donner aux travaux d'exploration dans une mine, sur les modifications à attendre dans la constitution du gîte, sur le prix de revient de l'exploitation, etc.

Examen sommaire des questions que peut avoir à résoudre un ingénieur sur un gisement nouveau ou déjà en exploitation. Moyens généraux d'appréciation, etc.

2° *Côté scientifique :* Genèse des gîtes minéraux et métallifères; contre-coup des résultats obtenus dans cette étude spéciale sur la géologie générale; appui mutuel que se prêtent, en matière de gîtes utiles, les travaux pratiques et les recherches scientifiques.

2e ET 3e LEÇONS.

Définition des gîtes métallifères. — Leur classification en trois catégories principales : Gîtes d'inclusion et de ségrégation directe; gîtes filoniens ; gîtes sédimentaires.

Conditions économiques dans lesquelles se présente l'exploitation de ces différentes sortes de gisements.

Origine première des métaux. Exposé succinct de la formation des gîtes et des liens qui rattachent ces trois catégories l'une à l'autre.

Répartition chimique des métaux entre les divers gîtes.

Phénomènes actuels pouvant servir à expliquer la formation des gîtes métallifères. — Sources thermales ; fumerolles volcaniques ; évaporation des bassins salés et des lagunes ; précipitations chimiques ; dépôts d'alluvions ; cristallisations dans les grottes.

Méthodes de synthèse des minéraux utiles.

Procédés d'étude des gîtes métallifères. — Examen stratigraphique, pétrographique, chimique et magnétique des roches et terrains avoisinants.

a. Gîtes d'inclusions dans les roches acides et basiques.

b. Gîtes de ségrégation directe et de départ (fer, chrome, titane, nickel, cuivre, etc.).

4ᵉ LEÇON.

c. Gîtes filoniens.

1° *Étude de la cavité remplie.* — Origine des fractures filoniennes ; influence mécanique des roches encaissantes ; formes principales des fractures ; accidents mécaniques contemporains du remplissage ou postérieurs ; champs de fractures.

2° *Étude du remplissage.* — Origine des minéraux filoniens. — Rôle des minéralisateurs et des eaux thermales. — Répartition des minerais dans le filon. — Groupements minéraux. — Succession des divers remplissages. — Âge des remplissages et chronologie des venues métallifères.

5ᵉ LEÇON.

d. Gîtes sédimentaires. — Gîtes de précipitation chimique et gîtes de concentration mécanique.

Examen succinct de quelques types de gîtes d'évaporation ou de dépôt chimique : sel, fer, cuivre, plomb, etc. — Allure lenticulaire. — Accidents mécaniques et plissements postérieurs au dépôt.

Allure générale des dépôts d'alluvions ou de concentration mécanique (étain, or, platine, diamant, etc.)

6e LEÇON.

Modifications des gisements postérieures à leur dépôt. — Phénomènes de métamorphisme superficiel et de remise en mouvement dans la zone où les eaux superficielles chargées d'oxygène et d'acide carbonique se renouvellent par une circulation constante.

Action chimique des terrains encaissants. Rôle spécial des calcaires dans la formation des gisements carbonatés (fer, plomb, zinc, cuivre, etc.).

Variation des gisements avec la profondeur (exemples des gisements de fer, de zinc, de cuivre, d'argent, d'or, etc.).

7e LEÇON.

Étude des conditions où se présentent dans la nature et s'exploitent les composés utiles des divers éléments chimiques.

Carbone. — *a. Diamant.* — Nature, propriétés, usages, prix, statistique.

Diamants du Cap, du Brésil, etc.

b. Graphite. — Propriétés, usages, statistique.

Gisements dans la granulite, dans le terrain primitif et dans les terrains primaires (Sibérie, Bohême, Ceylan).

c. Jais.

8e ET 9e LEÇONS.

d. Hydrocarbures. — Classification.

1° *Gaz naturels* combustibles.

2° *Pétroles.* — Propriétés, traitement, commerce. — Gisements

de Pensylvanie, du Caucase, de Roumanie, de Galicie, d'Italie, d'Alsace, etc.

3° *Ambre.*

4° *Ozokérite.* — Gisements de Galicie.

5° *Bitumes.* — Usages. — Gisements de la Trinidad.

6° *Schistes bitumineux.* — Usages. — Gisements de l'Autunois et de l'Allier.

7° *Asphaltes.* — Usages. — Gisements de Seyssel, du Val Travers, d'Auvergne.

10° LEÇON.

Silice et Silicates divers.

Sable pour verrerie; cristal de roche; agate; opale; mica; amiante; ardoise (gisements d'Angers et des Ardennes); *topaze; émeraude; grenat,* etc.

Bore. — Usages, prix et statistique.

Gisements de Toscane, d'Asie Mineure, de Californie.

11° LEÇON.

Soufre. — Usages, prix et statistique.

Gisements de soufre natif (solfatares et solfares). — Gisements de Sicile.

Gisements de pyrite de fer. — Exemples français du Rhône, du Gard, etc.

Famille du chlore. — Chlore, Brome, Iode, Fluor.

12° ET 13° LEÇONS.

Phosphore. — Usages, prix et statistique.

Gisements de phosphate de chaux: Apatite, phosphorite, rognons, nodules, sables et craie phosphatée. — Scories phosphatées.

Types de Norvège, de l'Estramadure, du Quercy, de l'Auxois,

des Ardennes, du Boulonnais, de la Somme et du Pas-de-Calais, de la Tunisie et de l'Algérie, du Nassau, de la Caroline, de la Floride, etc.

14ᵉ ET 15ᵉ LEÇONS.

Azote. — **Nitrates.** — Usages, prix et statistique.

Gisements du Pérou et du Chili.

Potassium. — Usages, prix. — Gisement de Stassfurt.

Sodium. — Usages et prix de ses divers composés.

Chlorure de sodium. — Gisements de sel gemme du Salzkammergut, de Lorraine, du Cheshire, des Carpathes, etc.

Glaubérite. — Gîte de Gien-Pozuelos.

Carbonate de soude.

16ᵉ LEÇON.

Calcium. — Usages et prix de ses divers composés.

Carbonate de chaux. — 1° Pierres de construction; 2° Calcaires à chaux et à ciment; 3° Craie; 4° Pierres lithographiques; 5° Marbre.

Sulfate de chaux. — Gisements de gypse de Lorraine et des environs de Paris.

17ᵉ LEÇON.

Magnésium. — Usages et prix de ses composés.

Gisements de carbonate de magnésie et d'écume de mer.

Barium. — Usages et gisements.

Strontium. — Usages. Gisements de *strontianite* et de *célestine.*

Aluminium. — Usages et prix de ses composés.

Gisements de *bauxite* et de *cryolite.*

Oxydes d'aluminium : *corindon, émeri, rubis, saphir.*

Alun. — Gisements d'alunite de la Tolfa.

Argiles et kaolins. — Gisements du Limousin, du Bourbonnais.

18e, 19e ET 20e LEÇONS.

Fer. — Usages, prix et statistique.

Généralités. — Transformation des divers minerais de fer les uns dans les autres.

1° Rôle du fer dans la constitution des roches cristallines. — Gîtes de fer en inclusions dans les roches.

2° Gîtes de fer de ségrégation directe et de contact.

3° Gîtes de fer filoniens. — Filons et amas d'oxyde de fer ou de pyrite de fer. — Filons et amas de sidérose.

4° Gisements de fer stratiformes et sédimentaires.

Amas laurentiens des États-Unis, de Suède et Norwège, de Mokta-el-Hadid, etc.

Couches dévoniennes de Segré, Saint-Rémy, Krivoirog.

Couches carbonifères du Cumberland, de la Ruhr.

Couches jurassiques de Saône-et-Loire, de Meurthe-et-Moselle, du Cleveland, de la Voulte.

Fers en grains du Berry et de Meurthe-et-Moselle.

5° Rôle capital du métamorphisme superficiel. — Gîtes de Styrie, des Pyrénées, de Bilbao, de l'île d'Elbe et de la Tafna.

21e LEÇON.

Manganèse. — Usages, prix et statistique.

Gisements de las Cabesses, de Romanèche, du Caucase, du Nassau, etc.

Chrome. — Usages, prix et statistique.

Gisements de Turquie d'Asie, de Nouvelle-Calédonie, du Canada, des États-Unis, etc.

22e LEÇON.

Nickel. — Usages, prix et statistique.

Gisements de la Nouvelle-Calédonie. — Pyrrhotines nickélifères du Canada et de Scandinavie. — Minerais complexes d'Allemagne et de Hongrie.

Cobalt. — Usages, prix et statistique.

Gisements de Saxe, Scandinavie, etc.

Vanadium. — Usages, prix et gisements.

23e LEÇON.

Étain. — Usages, prix et statistique.

Gisements filoniens du Cornwall, de Saxe et Bohême, du Morbihan, du Plateau central, de Bolivie.

Alluvions stannifères des Détroits.

24e LEÇON.

Bismuth. — Usages, prix et gisements.

Tungstène. — Usages, prix et gisements.

Molybdène. — Usages, prix et gisements.

Uranium. — Usages, prix et gisements.

Antimoine. — Usages, prix et statistique.

Gisements du Plateau Central, de Corse, de Turquie d'Asie, etc.

Arsenic. — Usages, prix et gisements.

25e ET 26e LEÇONS.

Cuivre. — Usages, prix, statistique, commerce.

1° Gîtes de ségrégation directe dans les roches basiques et gîtes de contact : types de Monte Catini, de l'Oural, du Banat.

2° Gîtes filoniens.

Filons de chalcopyrite de l'Arizona, du Montana, etc.

Amas de pyrite de fer cuivreuse de Falun et Röraas en Scan-

dinavie, de Rio Tinto et Tharsis, en Espagne, du Rammelsberg, etc.

Filons de cuivre gris de la Sierra Nevada, d'Algérie, etc.

3° Gisements de cuivre natif du lac Supérieur.

4° Gîtes sédimentaires. — Grès cuprifères de Perm, de Bohême, de Corocoro, de Saint-Avold, du Boleo. — Schistes cuprifères du Mansfeld.

27° ET 28° LEÇONS.

Zinc. — Usages, prix, statistique, commerce.

Généralités. — Association des sulfures de zinc, plomb et fer.

1° Filons de Blende. — Type des Bormettes (Var), etc.

2° Gisements de zinc dans les calcaires. — Amas calaminaires. — Rôle du métamorphisme superficiel.

Gisements du Laurium, de Sardaigne, de Belgique.

3° Gîtes subordonnés aux terrains sédimentaires. — Types d'Ammeberg (Suède), de la Haute-Silésie, de la région de Carthagène.

29°, 30° ET 31° LEÇONS.

Plomb. — Usages, prix, statistique, commerce.

Généralités.

1° Filons de galène et champs de fracture complexes.

Types français de Pontpéan et de Pontgibaud; types espagnols de Linarès; type de Przibram (Bohême); type du Harz; type de Freiberg (Saxe), etc.

2° Gisements de plomb dans les calcaires, avec phénomènes de substitution.

Gîtes d'Eureka, Leadville, Bulgardagh, etc.

3° Gisements sédimentaires. — Types de la Prusse Rhénane et de la Silésie.

32ᵉ LEÇON.

Mercure. — Usages, prix, statistique, commerce.

Généralités.

Gisements d'Almaden, Idria, Siele, Nikitofka et de Californie.

33ᵉ ET 34ᵉ LEÇONS.

Argent. — Usages, prix, statistique, commerce, rôle économique, question monétaire.

1° Filons à minéraux d'argent proprement dits. — Gîtes de Kongsberg, du Sarrabus, de Guadalcanal, de Schemnitz, du Comstock, de Butte-City, du Mexique, du Chili, de Broken-Hill.

2° Minerais complexes. — Galènes, cuivres gris et minerais d'or argentifères.

35ᵉ, 36ᵉ ET 37ᵉ LEÇONS.

Or. — Usages, statistique, limites d'exploitabilité des gisements.

Généralités. — Rôle du métamorphisme superficiel.

1° Gîtes d'inclusions dans des roches basiques ou acides. Diorites aurifères de Guyane, d'Australie, etc. Trachytes et rhyolithes aurifères.

2° Filons de quartz aurifère et de pyrite aurifère. Types du Callao, de Berezowsk, de l'Australie Occidentale, de la Nouvelle-Zélande, de l'Afrique du Sud, etc.

3° Filons de mispickel et autres minerais sulfurés complexes. Exemples du Plateau Central, des Alpes, du Brésil, etc.

4° Filons tellurés de Cripple Creek, du comté de Boulder (Colorado), de Transylvanie.

5° Association de l'or avec des séléniures ou des antimoniures. Types du Télémark, du Murchison Range (Transvaal), etc.

6° Imprégnations aurifères de terrains métamorphiques. Types du Dakota, de l'Alaska, de Scandinavie, de Sibérie, de Madagascar, etc.

7° Gisements du Witwatersrand au Transvaal.

8° Alluvions aurifères. — Types de Californie, d'Australie, de Sibérie, du Klondyke, etc.

9° Gisements de décomposition superficielle. — Types de Guyane et de Madagascar.

Platine. — Usages, statistique; gisements de l'Oural.

38° ET 39° LEÇONS.

Étude géologique, physique et chimique des sources thermominérales.

Définition. — *Origine des eaux thermales.* — De leur émergence. — Causes déterminantes de la position de leur griffon.

Propriétés caractéristiques des sources thermominérales et explication de ces propriétés.

Composition chimique (sels en dissolution et gaz). Dépôts formés par les eaux. — Réactions chimiques exercées. — Production de minéraux artificiels.

Température. — Sa mesure ; ses causes.

Débit. — Sa mesure; ses variations avec le niveau de captage; ses modifications avec le temps.

40° LEÇON.

De la distribution géographique des sources thermales. — Grandes régions naturelles. — Relations avec les accidents récents du sol. — Conséquences rétrospectives pour les filons anciens.

41° ET 42° LEÇONS.

Captage des eaux thermominérales.

Avantages et dangers du captage. — Étude préliminaire du

terrain. — Mesures générales pour l'exécution de tous les procédés de captage.

Description détaillée des diverses méthodes de captage : 1° Cas où l'on atteint le griffon; 2° cas où l'on met en jeu les différences de pression sur le griffon et autour du griffon; 3° Emploi des sondages.

Aménagement de la source après le captage. Transport de l'eau à l'établissement; réfrigération ou réchauffement, etc.

LEÇONS DE TOPOGRAPHIE.

M. PELLETAN,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, CHARGÉ DE LEÇONS.

1re LEÇON.

GÉNÉRALITÉS.

Méthodes diverses des levers de plans. Nivellement. Opérations mixtes. Canevas et détails.

Instruments de mesure. — Appareils pour mesurer les distances. Goniomètres. Viseurs à pinnules. Lunette astronomique. Niveau à bulle. Limbes gradués. Verniers. Boussoles, mires et supports.

2e LEÇON.

GÉNÉRALITÉS (SUITE).

Corrections à faire subir aux mesures. — Cas où ces corrections sont utiles. Influence de la courbure de la terre. Influence de l'altitude des points. Réfraction. Réduction des observations au centre de la station.

Notions sur la théorie des erreurs. — Erreurs accidentelles; systématiques; matérielles. Loi des écarts. Courbe de la cloche. Méthode des moindres carrés. Application à la fermeture d'un polygone; à une triangulation.

3e LEÇON.

LEVERS SUR LE TERRAIN.

Mesure des distances. — Jalonnage; chaîne, règle et appareils

divers. Stadias, tachymètres : lentille anallatique. Correction de Reichenbach; du colonel Goulier; de Porro; précision des appareils.

4e LEÇON.

Appareils d'arpentage; alidade à pinnules et à lunette. Usage de l'appareil. Vérifications.

Équerre d'arpenteur; équerre à réflexion; pantomètre d'arpenteur. Graphomètre.

5e LEÇON.

LEVERS SUR LE TERRAIN (SUITE).

Goniomètres. — Notions sur le cercle à réflexion, l'octant et le sextant. Cercle géodésique. Cercle d'alignement. Lunette d'alignement.

6e LEÇON.

Lever au théodolite. — Théodolite de Combes. Théodolites centrés; dispositifs divers; réglage de l'appareil. Mires et supports. Usage du théodolite. Report sur le plan.

Boussole d'arpenteur et instruments divers. — Boussole carrée. Boussole centrée. Boussole anglaise. Vérification et usage de l'appareil. Report sur le plan.

7e LEÇON.

LEVERS SUR LE TERRAIN (SUITE).

Nivellement. — Principes du nivellement. Mires à voyant. Mires parlantes. Niveaux sans lunettes. Niveaux à lunette de Lenoir, d'Égault, de Bourdaloue. Niveau de pente de Chézy. Niveau Aïta.

Nivellement de haute précision. Discussion des observations.

8e LEÇON.

LEVERS SUR LE TERRAIN (SUITE).

Applications. — Étude du sol. Lever de la ligne de base. Profils

en travers. Courbes de niveau. Préparation des projets. Avant-projet d'une route. Cubature des terrassements. Jalonnage des alignements. Tracé des courbes. Rattachement des levers de détail au canevas. Tracé sur le terrain d'une ligne figurée sur un plan.

9e LEÇON.

OPÉRATIONS SOUTERRAINES.

Lever à la boussole suspendue et à l'éclimètre. — Établissement du polygone funiculaire. Mesure des côtés. Éclimètre. Boussole suspendue. Usage de l'appareil. Perturbation de l'aiguille aimantée. Vérification de la boussole, son emploi dans les mines magnétiques. Boussoles à limbe mobile. Compas d'angle.

10e LEÇON.

OPÉRATIONS SOUTERRAINES (SUITE).

Lever au théodolite des mines. — Dispositifs employés pour l'éclairage du réticule et des mires.

Boussole d'arpenteur.

Nivellement dans les mines.

11e LEÇON.

PROBLÈMES DIVERS RELATIFS AUX PLANS DES MINES.

Tracé de la méridienne. — Sa représentation sur le carreau de la mine. Sa détermination : par la méthode cartographique; par l'observation des étoiles; par l'observation du soleil. Comparaison des méthodes.

Orientation des plans de mines. — Cas où les travaux communiquent au jour, par une ou plusieurs galeries; par plusieurs puits; par un seul puits.

Chaînage des puits. — Méthode de Firminy; méthodes diverses

12e LEÇON.

LEVERS EXPÉDITIFS.

Méthodes employées pour les levers expéditifs. — Leur utilité. Détermination des coordonnées géographiques d'un lieu. Lever rapide d'un cheminement. Emploi combiné du tachymètre et de la boussole. Méthodes diverses.

Nivellement barométrique. — Baromètre de Fortin. Baromètres anéroïdes. Formules de calcul.

COURS DE MACHINES

ET DE CONSTRUCTION DE MACHINES.

M. SAUVAGE,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, PROFESSEUR.

DEUXIÈME ANNÉE.

1re ET 2e LEÇONS.

GÉNÉRALITÉS.

Unités. — Force; travail; puissance : cheval-vapeur, kilowatt. Pression, température, volume, entropie d'une masse fluide; diagramme des pressions et volumes, diagramme des températures et entropies.

Classification. — Moteurs; transmissions, régulateurs; opérateurs; appareils à mesurer et à compter. Action des fluides ou sur les fluides : machines à piston; machines à entraînement direct (injecteurs, etc.); turbo-machines (turbines à vapeur, à eau, ventilateurs, etc.).

Instruments de mesure. — Indicateur de Watt, à planchette; à barillet. Indicateurs à course amplifiée; relevé des diagrammes par tranches; indicateurs continus. Oscillations des ressorts d'indicateur; effet du frottement. Ordonnée moyenne du diagramme. Dynamomètres de transmission, d'absorption. Frein de Prony; frein à corde, à bandes. Emploi des machines dynamo-électriques.

Gaz parfaits. — Chaleurs spécifiques. Travail de la détente

isotherme, de la détente adiabatique. Chaleurs spécifiques à haute température; détente adiabatique.

MOTEURS À AIR CHAUD.

Moteurs à masse d'air constante. — Machines de Stirling, de Rider; régénérateurs; détermination de la pression à un moment quelconque de l'évolution.

Moteurs à cylindre chauffé et distribution. — Machine d'Ericsson.

Moteurs à foyer clos soufflé. — Machines de Belou, de Bénier; partage de l'air en deux branches; régularisation.

3e, 4e ET 5e LEÇONS.

MOTEURS À GAZ ET À PÉTROLE.

Classification. — Moteurs à explosion (ou à combustion sous volume constant), sans compression; avec compression; moteurs à combustion sous pression constante; moteurs à combustion sous température constante.

Combustibles. — Gaz d'éclairage; composition et pouvoir calorifique; températures de combustion; pressions atteintes. Gaz de gazogène; gaz à l'eau fabriqué avec renversement des courants; appareils à marche continue; emploi de combustibles ne contenant ni soufre ni goudron. Gaz de haut-fourneau : séparation des poussières. Pétroles : produits successifs de la distillation des pétroles bruts. Alcool.

Étude théorique des moteurs à gaz. — Cycles de l'évolution des gaz dans les moteurs des quatre genres; rendements. Causes de réduction du rendement : action des parois, enveloppe à circulation d'eau; lenteur de l'explosion; combustion incomplète; contre-pression à l'échappement, échappement anticipé; dépression à l'aspiration. Frottements.

Description des moteurs à gaz. — Moteur Otto. Moteurs à quatre temps avec forte compression, avec détente allongée, avec une explosion par tour. Allumage, par tube incandescent, par étincelle électrique, par transport de flamme. Régularisation par suppression totale du gaz ou par réduction de la quantité admise; régulateur pendule. Démarrage. Prix de revient du travail fourni.

Moteurs à gaz pauvre. — Modification des dosages; fortes compressions.

Moteurs à pétrole. — Essences : carburateurs. Huiles d'éclairage et huiles lourdes : distillation préalable; vaporisation dans une chambre chauffée, par une lampe spéciale, par les gaz d'échappement; vaporisation dans le cylindre moteur. Moteurs à quatre temps; à combustion sous pression constante; moteur Diesel. Moteurs à grande vitesse pour voitures automobiles.

6ᵉ, 7ᵉ, 8ᵉ, 9ᵉ ET 10ᵉ LEÇONS.

PROPRIÉTÉS DES VAPEURS.

Étude physique. — Vapeur humide, saturée sèche, surchauffée. Tension de vapeur des dissolutions salines. Tables et formules de Regnault : chaleur totale, chaleur du liquide, chaleur de vaporisation, externe et interne; calcul de la chaleur latente externe.

Étude de la détente. — Détente adiabatique; emploi du diagramme entropique. Laminage. Surchauffe. Vapeurs de divers liquides.

MACHINES À VAPEUR; GÉNÉRALITÉS ET THÉORIE.

Historique. — Modes divers du travail de la vapeur dans les cylindres : anciennes machines atmosphériques à simple effet; double effet; détente; condenseur séparé; pressions élevées; échappement dans l'atmosphère. Machines de Woolf, compound, à plusieurs expansions. Vapeurs combinées. Turbines.

Cycles théoriques. — Limites de température; rendement du cycle de Carnot. Cycle théorique avec condensation totale de la vapeur; chauffage de l'eau d'alimentation par la chaleur perdue du foyer. Cycle théorique avec surchauffe : faible augmentation du rendement du cycle théorique.

Causes de réduction du rendement. — Détente incomplète. Espace libre; compression de la vapeur; degrés de compression les plus avantageux dans chaque cas. Action des parois; faible épaisseur de la couche de métal soumise aux variations de température; pouvoir absorbant et pouvoir émissif de la fonte; action des diverses régions des parois. Enveloppes de vapeur. Humidité de la vapeur. Surchauffe; action sur les parois. Laminage, à l'admission, à l'échappement; échappement anticipé. Fuites de vapeur. Pertes de chaleur par rayonnement et conductibilité; enveloppes isolantes. Transformation du travail indiqué en travail effectif.

Enveloppes de vapeur. — Alimentation, par dérivation de vapeur, par circulation préalable de la vapeur, par vapeur à température plus élevée que dans le cylindre. Retour aux chaudières de l'eau condensée, par son poids, par *steam loop*, par pompe de purge.

Études expérimentales. — Mesures de la consommation de vapeur et de la puissance indiquée. Détermination de la proportion d'humidité dans la vapeur : anciennes méthodes; appareils à surchauffe spontanée. Calcul des échanges de chaleur avec les parois pendant les principales phases de la distribution; représentation graphique.

Machines compound. — Cycle théorique. Machine monocylindrique équivalente. Compression dans les espaces libres de la compound. Volume du réservoir intermédiaire. Avantages théoriques; emploi de mécanismes simples de distribution.

Machines de Woolf. — Diagrammes théoriques. Comparaison avec la compound.

Machines à triple et à quadruple expansion. — Emploi des pressions élevées. Division des cylindres. Diagrammes totalisés.

Calcul des dimensions des cylindres. — Machine monocylindrique; formule de Poncelet et Morin. Machines compound et à expansions multiples.

Machines à vapeurs combinées. — Avantages théoriques de la réduction du volume du dernier cylindre; difficultés pratiques d'emploi des liquides très volatils.

11°, 12°, 13°, 14° ET 15° LEÇONS.

MACHINES À VAPEUR; DISTRIBUTION.

Phases de la distribution. — Quatre phases subdivisées en six. Diagrammes avec et sans laminages.

Distribution par tiroir unique et par excentrique. — Tiroir; table des lumières; excentrique : avance angulaire; barre d'excentrique; avances linéaires. Mouvement des quatre bords du tiroir sur les quatre bords des lumières; épure des phases de la distribution et des ouvertures de lumières. Tracé des positions du piston : épure de Reech. Distribution sans avances linéaires ni recouvrements intérieurs; effets des avances linéaires et des recouvrements intérieurs. Écarts dus à l'obliquité des bielles. Largeur de la lumière centrale du cylindre. Axes du tiroir et du cylindre non parallèles; balancier de renvoi. Épure elliptique; épure sinusoïdale; diagramme de Zeuner.

Formes diverses de tiroirs. — Tiroir à doubles orifices; tiroir à canal. Pression sur le tiroir; compensateurs; équilibre du poids du tiroir. Tiroirs cylindriques : interversion des bords.

Coulisse de Stephenson. — Marche avant et marche arrière; anciens mécanismes. Éléments de la coulisse. Barres droites;

barres croisées. Commande du tiroir par un point intermédiaire de la coulisse. Théorème de Guinotte. Excentriques fictifs de la coulisse de Stephenson. Variations des avances linéaires : rayon de la coulisse. Formes diverses de la coulisse.

Types divers de coulisses. — Coulisse de Gooch; constance des avances linéaires, variation des périodes d'admission anticipée. Coulisse d'Allan : règle de Zeuner. Distribution Walschaert. Distribution Marshall : excentriques fictifs.

Commande de l'arbre de relevage. — Levier et vis de changement de marche. Manœuvre à contre-poids de vapeur, avec vis non réversible ou frein à huile. Servo-moteur.

Mécanismes divers de changement de marche. — Réalisation de l'excentrique fictif des coulisses. Excentrique sphérique Tripier; changements de marche hydrauliques Müller, Joy; transmission hydraulique Bonjour.

Distributions à deux tiroirs. — Tiroirs séparés pour l'admission et l'échappement. Tiroir de détente sur table spéciale. Tiroirs superposés : étude des déplacements relatifs par la composition des excentriques. Détentes Meyer, Rider.

Distributions avec taquets à butée. — Tiroirs à taquets Farcot.

Distributions Corliss. — Petits espaces libres; admission sans laminage; très courtes périodes d'échappement anticipé et de compression. Emploi de quatre distributeurs; fermeture brusque des distributeurs d'admission. Fraction de la course pendant laquelle le déclenchement peut se produire : moyens d'augmenter cette fraction. Dash pot. Dispositifs de sûreté, en cas d'arrêt du régulateur. Épures du mouvement des distributeurs. Types divers de Corliss. Distributions de Farcot, de Frikart. Machines rapides avec obturateurs à déclenchement.

Distributeurs oscillants et tournants. — Machines rapides à quatre distributeurs, sans déclics. Tiroirs oscillants; à rotation continue.

Distributions à soupapes. — Soupapes à double siège. Commande Audemar, par manchons à cames. Machine de Cornouailles. Distributions Sulzer, systèmes successifs : longue période de déclenchement; amortisseurs de fermeture Soupapes à chûte accompagnée : Collmann, Proell, etc.

Distributions à commande indirecte. — Machines à mouvement rectiligne non transformé, pour compresseurs d'air, pompes. Groupes conjugués : pompes Worthington.

Marche à contre-vapeur. — Distribution anormale par un excentrique dont l'angle d'avance dépasse 90 degrés. Diagrammes de la marche normale et de la marche à contre-vapeur, sans laminages et avec laminages. Excentrique avec avance de 90 degrés. Zones motrices et résistantes de la coulisse.

Démarrage des machines. — Moment moteur produit par un piston. Calage de deux manivelles à angle droit. Machines compound à deux cylindres; mécanismes de démarrage. Frottement des tourillons : zones d'arc-boutement des bielles.

Comparaison des systèmes de distribution. — Étude géométrique des distributions; grande influence de la section des passages. Comparaison des diagrammes obtenus avec les tiroirs et avec les distributeurs à déclenchement.

16e ET 17e LEÇONS.

MACHINES À VAPEUR; TRANSMISSION ET RÉGULARISATION DU MOUVEMENT.

Effet de la masse des pièces à mouvement alternatif. — Diagrammes des efforts sur le piston et des efforts transmis à la manivelle motrice. Construction de la vitesse et de l'accélération du piston.

Chocs et vibrations. — Action de la pression de la vapeur et des forces d'inertie. Équilibre des pièces tournantes et des pièces à mouvement alternatif.

Volants. — Variations du moment moteur avec une, deux et trois manivelles. Frottement du volant. Tension dans la jante : limite de vitesse à la jante. Volant comme accumulateur de travail.

Régulateurs. — Variations de la vitesse angulaire pendant un tour et pendant plusieurs tours. Action sur la pression : papillon, soupape équilibrée. Action sur la période d'admission. Sensibilité, régularité, stabilité, puissance. Conditions du bon fonctionnement du régulateur. Défauts du régulateur à embrayage. Causes de retard dans l'action d'un régulateur. Recherches expérimentales. Régulateurs de Watt, de Porter; types divers de régulateurs. Régulateurs agissant sur le calage de l'excentrique : déplacement du centre de l'excentrique sur un arc de cercle de grand rayon, en ligne droite, sur un arc de petit rayon; déplacement par superposition de deux poulies. Transmissions non réversibles; freins.

18e LEÇON.

PRINCIPAUX ORGANES DES MACHINES À VAPEUR.

Bâtis et fondations. — Efforts dans les bâtis. Fondation. Machines horizontales : bâti plat, bâti à baïonnette. Bâtis des machines-pilon : fonte, fer, acier coulé.

Cylindres. — Cylindres fondus avec enveloppe; chemises rapportées.

Pistons et garnitures. — Pistons à simple toile, à double toile. Emmanchement de la tige. Bagues élastiques. Garniture de la tige. Tête ou crosse de piston; glissières.

Bielles. — Petite tête; grosse tête; rattrapage du jeu.

Arbres et manivelles. — Manivelle rapportée, en porte à faux; arbre coudé. Coussinets; emploi du métal blanc. Arbres verticaux. Paliers de butée des arbres d'hélice.

Graissage des mécanismes. — Pattes d'araignée. Trous de graissage; godets graisseurs; mèches, épinglettes, petits trous. Lécheurs pour graissage continu. Graisses pâteuses. Arrosage des paliers et circulation d'eau.

Graissage des pistons et des distributeurs de vapeur. — Emploi des huiles minérales. Graissage intermittent; graisseurs à condensation; pompes à huile.

19e ET 20e LEÇONS.

DISPOSITIONS D'ENSEMBLE DES MACHINES À VAPEUR [1].

Classifications. — Divisions et subdivisions d'après la destination des moteurs.

Moteurs fixes à petite et à moyenne vitesse. — Vitesse angulaire des machines et vitesse moyenne du piston. Machines à balancier; machines horizontales; machines-pilon; machines monocylindriques, compound, à triple expansion.

Moteurs fixes à grande vitesse. — Avantages théoriques des moteurs à grande vitesse; préférence donnée souvent aux moteurs lents. Calage de deux manivelles à 180°. Machines à simple effet; importance de la compression; emploi d'un matelas d'air. Machine Willans.

Locomobiles et machines demi-fixes. — Locomobiles, avec chaudière locomotive; à boîte à feu surélevée; à tubes en retour. Mécanismes à un cylindre, à deux cylindres, compound. Machines demi-fixes : mécanismes sur la chaudière, sous chaudière. Machines portatives. Moteurs de treuils, de grues.

---

[1] Non compris celles qui sont spécialement étudiées dans d'autres cours.

Élévations d'eau. — Machines d'épuisement; machines élévatoires. Machines à mouvement de rotation pour distributions urbaines; lenteur de la marche. Pompes à action directe; machine Worthington; disposition compound; détente; pistons compensateurs. Pulsomètres. Pompes alimentaires et petits chevaux des chaudières.

Machines de bateaux. — Économie de poids; fonctionnement continu. Marche à puissance constante; à puissance variable. Roues à aubes; hélice; bâtiments à deux et à trois hélices. Machines américaines à balancier supérieur; balanciers inférieurs; connexion directe pour les roues : cylindres oscillants; cylindres inclinés et horizontaux. Machines pilon pour hélices. Machines à triple expansion, à trois et à quatre manivelles; avec groupes en tandem. Emploi des tiroirs cylindriques. Machines pour torpilleurs et canots, compound et à triple expansion. Machines horizontales : fourreau, bielle en retour.

Machines rotatives. — Complication sans intérêt de la plupart des machines rotatives. Classification de Reuleaux : capsulismes dérivés de la transmission par bielle et manivelle, et capsulismes à roues engrénant ensemble.

Services demandés à une machine. — Prévision des services demandés; importance des programmes bien tracés. Considérations principales : variations de la vitesse, de la puissance; durée plus ou moins grande des périodes de marche; conditions de démarrage; conduite, entretien et réparation des appareils; transport des machines. Mesures de sécurité.

Prix de revient de la puissance motrice. — Cheval-heure ou kilowatt-heure comme unité de travail; frais d'exploitation et dépenses d'installation. Causes diverses de la dépréciation de la valeur des machines : usure, progrès de la construction, modification des services demandés.

21ᵉ LEÇON.

MACHINES À VAPEUR; CONDENSATION.

Condensation par mélange. — Pressions de la vapeur et de l'air dans le condenseur. Calcul de la quantité d'eau utile; de la capacité du condenseur; de la puissance dépensée par la pompe à air. Description des appareils. Condenseur Weiss, avec pompe à air seul. Motifs pour ne pas trop abaisser la température de condensation. Dispositions pour refroidir l'eau.

Condenseur à surface. — Condenseur de Hall. Faisceau tubulaire. Diamètre des tubes; assemblage des tubes dans la plaque. Pompe de circulation et pompe à air. Calcul de la surface condensante. Puissance absorbée par les pompes.

22ᵉ, 23ᵉ, 24ᵉ ET 25ᵉ LEÇONS.

MACHINES À VAPEUR; PRODUCTION DE LA VAPEUR.

Conditions générales. — Mauvaise utilisation, théorique et pratique, de la chaleur dans les chaudières. Combinaison avantageuse du chauffage et de la production de puissance motrice. Conditions à préciser pour bien définir l'utilisation du combustible.

Combustibles. — Qualités de houilles recherchées pour la production de la vapeur; cendres; eau mélangée. Essais calorimétriques; essais de vaporisation.

Combustion. — Pertes de combustible, à l'état gazeux et à l'état solide. Perte de chaleur due à un excès d'air. Rentrées d'air anomales. Chaleur des gaz et chaleur rayonnante, en proportion variable; températures de combustion; chauffage préalable de l'air aux dépens des gaz rejetés.

Foyers. — Grilles; barreaux en fonte, en fer. Extraction des mâchefers; grilles oscillantes. Grilles à gradins. Appareils de

chargement mécanique. Fumée. Foyers pour combustibles spéciaux, tels que tannée, sciure et copeaux.

Tirage. — Tirage *naturel* et *forcé*. Ventilateur soufflant dans le cendrier, dans une chambre de chauffe close; ventilateur aspirant; chauffage de l'air. Échappement des locomotives; souffleurs.

Combustibles liquides et gazeux. — Emploi des résidus de pétrole. Brûleurs. Substitution de l'air comprimé à la vapeur pour l'injection du combustible. Chaudières chauffées au gaz naturel; au gaz de haut-fourneau; au gaz de gazogène. Combustibles pulvérulents.

Transmission de la chaleur à l'eau. — Coefficients de transmission. Prépondérance du coefficient de transmission des gaz chauds à la tôle. Température relativement peu élevée de la tôle; influences défavorables de l'épaisseur et des dépôts. Réchauffeurs : répartition de la surface totale de chauffe entre le réchauffeur et la chaudière proprement dite.

Effet des quantités d'eau et de vapeur. — Effet d'une grande masse d'eau. Circulation de l'eau dans les chaudières; *hydrokineter, émulseur*. Espace occupé par la vapeur; étendue du plan de dégagement. Chaudière sans foyer.

Classification des chaudières. — Chaudières à grands corps : foyers extérieurs, intérieurs; chaudières tubulaires; chaudières tubulées. Types mixtes. Chaudières proprement dites et réchauffeurs.

Chaudières à grands corps et à foyer extérieur. — Chaudière cylindrique horizontale ; verticale; formée de plusieurs cylindres pareils. Bouilleurs.

Chaudières à grands corps et à foyers intérieurs. — Chaudières de Cornouailles, de Lancashire. Tubes Galloway.

Chaudières tubulaires. — Brevet de Séguin. Chaudières de

locomotive : boîte à feu, corps cylindrique, foyer, tubes, plaques tubulaires; boîte à fumée; cheminée. Foyers Belpaire, Wootten. Entretoises ; consolidation du ciel de foyer, des faces planes de boîte à feu. Chaudières de locomobiles et fixes du type locomotive. Chaudières fixes cylindriques; à bouilleurs ou semi-tubulaires; à tubes prolongeant le foyer; à tubes en retour et à foyer amovible. Chaudières marines, à un, deux, trois et quatre foyers; chaudières doubles; chaudières à tubes dans le prolongement des foyers. Dispositions des tubes. Tubes à ailettes. Viroles. Action des tubes comme tirants.

Chaudières tubulées à gros tubes rectilignes. — Générateurs Belleville; classification des générateurs tubulés à gros tubes; circulation de l'eau dans les tubes. Emploi des pressions élevées. Générateurs marins.

Chaudières tubulées à petits tubes. — Chaudières de Dutemple, Thornycroft, Yarrow, Normand. Chaudières Serpollet. Tubes Field et chaudière Field.

Réchauffeurs. — Réchauffeurs à la suite des foyers. Réchauffeurs à vapeur d'échappement. Chauffage de l'eau par la vapeur des chaudières et des réservoirs intermédiaires des machines à expansions multiples. Évaporateurs.

Surchauffeurs. — Surchauffeurs dans les carneaux des foyers; à chauffe spéciale. Surchauffe par abaissement de pression.

Essais des chaudières. — Quantités à mesurer. Comparaison des types divers.

Alimentation des chaudières. — Alimentation continue, intermittente. Appareils d'alimentation. Alimentation dans la vapeur. Action de l'air dissous. Eaux acides. Matières grasses. Filtres à graisse. Matières en suspension et en dissolution dans l'eau. Titre hydrotimétrique. Épuration préalable des eaux. Désincrustants. Emploi du zinc. Localisation des dépôts. Extraction. Indicateurs de niveau.

Soupapes de sûreté et manomètres. — Surface de portée. Articulations des leviers sur couteaux. Soupapes à grande levée. Manomètre à tube flexible.

Tuyauteries de vapeur; enveloppes isolantes. — Diamètre des tuyaux. Soupapes de prise de vapeur. Clapets d'arrêt automatiques. Détendeurs. Calcul de la chaleur perdue à travers une enveloppe circulaire.

Accidents. — Trois causes principales : vices primordiaux des appareils (défauts d'étude; mauvaises tôles; exécution défectueuse); usure (corrosions intérieures : eaux acides, action de l'eau et des gaz; pustules, sillons, fentes; corrosions extérieures : action de l'humidité, de l'acide sulfurique dans les suies); négligence et imprudence dans l'emploi (entartrement des chaudières; excès de pression; défaut d'alimentation).

Épreuves et surveillance. — Surcharges d'épreuve. Emploi de la presse hydraulique. Inspection par les associations de propriétaires d'appareils à vapeur.

TROISIÈME ANNÉE.

1re ET 2e LEÇONS.

HYDRAULIQUE.

Généralités. — Mouvement permanent; mouvement varié. Filets liquides. Équation de continuité. Cas d'évaluation directe de la pression. Théorème de Bernoulli; en tenant compte du frottement; dans le mouvement relatif.

Écoulement des liquides. — Orifices en mince paroi. Grands orifices (vannes). Orifice parfaitement évasé; ajustage rentrant de Borda. Orifices noyés. Déversoirs avec seuil; en mince paroi.

Pertes de charge en des points spéciaux. — Changements

brusques; théorème de Bélanger. Ajutages cylindriques et coniques. Choc d'une veine liquide contre un plan.

Tuyaux de conduite. — Expression du frottement. Formules de la perte de charge. Diaphagmes, coudes.

Canaux. — Régime uniforme, régime varié. Remous. Ressaut.

Jaugeages. — Mesure directe du débit; mesure directe d'une fraction déterminée du débit. Emploi des orifices en mince paroi, du déversoir en mince paroi. Mesures sommaires, à l'aide de vannes, de déversoirs à seuil. Mesures de la vitesse; flotteurs, tubes de Pitot, de Darcy; moulinets; tube de Venturi. Compteurs.

3e LEÇON.

MOTEURS HYDRAULIQUES; GÉNÉRALITÉS.

Chutes d'eau. — Éléments principaux à déterminer : hauteur et débit, avec les variations. Travaux d'aménagement.

Formule générale. — Classification. Expression du rendement, avec énumération des causes de réduction.

MOTEURS HYDRAULIQUES; ROUES.

Roues à augets. — Roue en dessus : entrée de l'eau dans les augets; surface de l'eau dans les augets; déversement anticipé. Meilleure vitesse. Construction de la roue; transmission du mouvement. Roue à augets alimentée en arrière. Roue à manteau.

Roues de côté. — Roues à aubes radiales; à aubes courbes; à aubes inclinées (roue Sagebien).

Roues en dessous. — Roues à aubes planes; réduction de la vitesse de l'eau sur le coursier; faible rendement. Roue Poncelet; étude sommaire (la roue Poncelet est une turbine).

Roues pendantes; divers. — Formule empirique du rendement de la roue pendante. Balance d'eau.

4e, 5e ET 6e LEÇONS.

MOTEURS HYDRAULIQUES; TURBINES.

Descriptions sommaires et classification. — Turbines radiales, centrifuges ou centripètes, axiales ou hélicoïdes, mixtes, composées. Division en turbines à réaction et turbines à impulsion; turbines intermédiaires. Admission totale et admission partielle. Turbines noyées; turbines suspendues, à tube d'écoulement; turbines dans l'air.

Étude de la turbine Jonval. — Triangles des vitesses. Équations générales. Degrés divers de réaction; cas limite entre la réaction et l'impulsion. Causes de perte de rendement; fuite au joint. Tracé des aubes. Essais; variations du débit et du rendement pour diverses vitesses de marche.

Étude générale des turbines à réaction. — Triangles des vitesses. Équation de continuité; théorème de Bernoulli; théorème des moments des quantités de mouvement. Diverses pertes de charge : frottements, chocs, force vive finale; fuite au joint. Meilleures vitesses de marche. Turbines géométriquement semblables; coefficients caractéristiques. Expériences. Amortisseurs.

Vannages et régularisation. — Réduction simultanée du débit et du rendement; réduction du débit seul. Variation de la section de passage; aubes directrices articulées; fermeture d'une partie des orifices distributeurs. Turbines multiples et à couronne divisée. Régulateurs avec frein; avec servo-moteur à action rapide.

Turbines à impulsion. — Turbines Girard. Triangles des vitesses. Pertes de rendement; effet de l'évasement des couronnes.

Tracé des aubes; cas des turbines axiales. Vannages. Montage hydro-pneumatique. Roue Pelton.

Détails de construction. — Charge sur le pivot. Équilibre du poids par la pression de l'eau. Pivot Fontaine.

Emploi des moteurs hydrauliques. — Hauteurs de chute variables; débits variables. Turbines de hautes chutes.

7e LEÇON.

MOTEURS HYDRAULIQUES À PISTON.

Machines à colonne d'eau. — Simple effet. Montage du cylindre en-dessous du bief d'aval. Distribution par moteur auxiliaire. Pertes de rendement. Machines à double effet.

Grues hydrauliques, ascenseurs, presses. — Simplicité de la manœuvre; dépense d'eau correspondant toujours à la charge maxima. Riveuses; retour du piston.

Machines à mouvement de rotation. — Pistons plongeurs; pistons ordinaires. Moteurs Schmidt. Moteurs à dépense d'eau variable suivant la charge.

Transmission hydraulique de la puissance motrice.—Accumulateur. Faible rendement de la transmission; commodité pour les usages intermittents. Emploi pour la commande des pompes intérieures de mines.

8e LEÇON.

MACHINES ÉLÉVATOIRES.

Transport direct. — Roues à augets; noria; roues à tympan; roues hollandaises; vis d'Archimède.

Pompes à piston. — Types principaux : piston plein ordinaire à simple effet, à double effet; piston plein plongeur à simple, à double effet; piston creux plongeur à double effet; piston creux ordinaire à simple, à double effet; pompes mixtes. Mouvement de

l'eau dans la pompe à piston; chocs, vitesse limite; réservoirs d'air. Pompes rotatives.

9e, 10e ET 11e LEÇONS.

PNEUMATIQUE.

Formule générale du mouvement des gaz. — Écoulement permanent par un orifice, à densité constante, à température constante, à entropie constante. Pression dans la veine fluide : limite inférieure.

Frottements des gaz. — Mouvement dans les conduites; formules empiriques de la chute de pression.

Tirage des cheminées. — Températures de plus grand débit en poids avec pression maxima et pression minima dans le foyer.

Machines à piston. — Machines soufflantes; compresseurs; machines pneumatiques; ventilateurs rotatifs. Effet des espaces libres. Compression isotherme, adiabatique. Refroidissement : enveloppes à circulation d'eau; compresseurs hydrauliques; injection d'eau. Compresseurs étagés. Commande des soupapes.

Moteurs à air comprimé. — Difficultés d'emploi de la détente. Chauffage préalable de l'air. Transmissions par l'air comprimé.

Écoulement de la vapeur. — Formules théoriques; résultats d'expériences. Mouvement de la vapeur dans les conduites.

12e LEÇON.

MACHINES À ENTRAÎNEMENT DIRECT.

Injecteurs. — Organes essentiels. Mouvement de la veine fluide dans le divergent. Formules du fonctionnement. Faible rendement. Injecteurs aspirants et non aspirants. Amorçage. Injecteur Giffard; types divers à aiguille; injecteurs à cônes fixes; injecteurs doubles. Expériences de débit. Injecteurs à vapeur d'échappement. Éjecteurs.

Injecteurs à jet d'eau. — Faible rendement.

Béliers hydrauliques. — Simplicité et grand rendement. Formule du fonctionnement. Détails de construction.

13e LEÇON.

TURBO-MACHINES.

Généralités. — Génératrices, réceptrices. Machines unilatérales et bilatérales. Distributeur, roue cloisonnée, amortisseur ou diffuseur. Lois de similitude. Coefficients caractéristiques. Formules générales.

Turbines. — Application des formules générales aux divers types. Rendements aux diverses vitesses.

Pompes centrifuges. — Absence de distributeur cloisonné; emploi de l'amortisseur. Pompes centrifuges en série. Pompes hélicoïdes.

Ventilateurs. — Ventilateurs centrifuges; formes des ailes; amortisseurs. Ventilateurs hélicoïdes.

Turbines à vapeur. — Turbines en cascade; à roue unique.

14e LEÇON.

MACHINES FRIGORIFIQUES.

Machines à air. — Cycle théorique. Influence de la vapeur d'eau. Abandon des machines à air.

Machines à liquides volatils. — Cycles théoriques. Suppression du cylindre de détente : robinet de réglage. Liquides employés : propriétés physiques recherchées. Machines à gaz ammoniac; à acide carbonique.

Machines à affinité. — Comparaison avec les machines à moteur mécanique.

15e ET 16e LEÇONS.

CONSTRUCTION DES MACHINES; PRÉPARATION.

Études. — Avants-projets; études de détail; études d'exécu-

tion. Utilité de la pratique des ateliers. Échelles; cotes; simplifications dans les tracés. Calculs; degré de précision nécessaire; emploi de la règle à calcul. Jeux des articulations. Jeu résultant du degré de précision à prévoir dans la confection de chaque pièce. Nature et dimensions des matières à employer. Archives des bureaux d'études; séries de pièces-types.

Essais des matériaux. — Cahiers des charges. Essais à la traction; préparation des éprouvettes; dimensions; limite d'élasticité, striction, allongement total, charge de rupture. Machines d'essai; appareils enregistreurs. Essais à la flexion, par choc. Essais sommaires sans machines : pliages, emboutissages.

Traçage et mesure des pièces. — Instruments de traçage. Appareils de mesure; jauges rectilignes, à bouts; manière de les obtenir, en partant d'un mètre étalon à traits. Bagues et tampons cylindriques. Calibres divers. Température à choisir comme normale. Pièces interchangeables; vérification avec calibre maximum et calibre minimum.

17e LEÇON.

CONSTRUCTION DES MACHINES; EXÉCUTION DES PIÈCES BRUTES.

Forge. — Foyers; combustibles : houille, coke; matières premières. Travail à la main : outils. Marteaux pilons; marteaux à gaz. Soudures; matriçage. Emploi de la presse hydraulique. Machines à forger.

Fonderies. — Procédés de moulage : châssis, modèles sur planches, machines à mouler. Fonderie de fonte, de bronze, d'acier moulé.

18e, 19e ET 20e LEÇONS.

MACHINES-OUTILS.

Machines-outils pour travailler les métaux. — Travail de

l'outil coupant le métal; observations et expériences. Prise et serrage; angle tranchant; angle d'incidence. Vitesse de l'outil; refroidissement. Flexion de l'outil. Puissance motrice consommée; travail employé à produire un kilogramme de copeaux. Forge des outils; outils composés; affutage à la main et automatique.

Tours. — Banc, poupées, commande, support à chariot, vis mère, harnais d'engrenages; filetage. Tour à plateau. Tours revolvers. Barre d'alésage; machines à aléser.

Perçage. — Forets. Perceuses fixes; radiales. Machines à percer les tôles de chaudières en place.

Rabotage. — Machines à raboter à table; retour rapide. Étau-limeur. Machine à mortaiser.

Fraisage. — Fraises de forme; fraises cylindriques hélicoïdes. Vitesse de la fraise. Machines à fraiser; fraisage suivant gabarit. Construction et affutage des fraises. Scies circulaires et à ruban pour métaux.

Meulage. — Meules en grès, pour travail grossier; meules pour finissage précis. Meules artificielles. Rectification des pièces trempées.

21e, 22e ET 23e LEÇONS.

CHAUDRONNERIE.

Préparation des tôles. — Matières premières; sens du laminage des tôles. Tracage; planage; machines à planer, à cintrer. Découpage: cisailles; commande mécanique, hydraulique; étude du cisaillement. Poinçonnage; perçage au foret; comparaison des trous poinçonnés et forés. Machine à chanfreiner. Forge des tôles; étirage des pinces. Emboutissage; presses à emboutir. Forge des cornières.

Assemblage des tôles. — Rivure d'assemblage; rivure étanche; rivures à un rang, à deux, à plusieurs rangs; par recouvrement,

à couvre-joints. Calcul des rivures. Rivetage au marteau, à la bouterolle; riveuses mécaniques, fixes et mobiles. Mattage. Entretoises et tirants des chaudières. Tôles minces : réservoirs, enveloppes de chaudières.

Tuyauterie. — Tubes de chaudière; mandrinage; tubes Bérendorf. Travail des tuyaux; cintrage, brasage des brides. Accidents causés par les tuyauteries de vapeur.

24e ET 25e LEÇONS.

MONTAGE; GÉNÉRALITÉS SUR LES ATELIERS.

Montage. — Montage définitif; à blanc. Ateliers de montage : engins de levage; machines portatives à percer.

Installation des ateliers. — Engins de levage : vérins, crics, moufles, palans, grues fixes, mobiles, grue Ramsbottom, ponts roulants. Disposition des ateliers; éclairage, chauffage, installations pour le personnel. Magasins; comptabilité des ateliers; établissement des prix de revient. Règlement et payement des salaires.

COURS DE CHEMINS DE FER.

M. VICAIRE,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES, PROFESSEUR.

1re LEÇON.

Données statistiques propres à faire apprécier l'importance de l'industrie des chemins de fer; comparaison avec les transports par routes, par eau. — Ordre à suivre dans le cours : le plus rationnel pour l'étude n'est ni l'ordre d'invention, ni l'ordre d'établissement des diverses parties d'un chemin de fer [1].

MATÉRIEL ROULANT.

MATÉRIEL DE TRANSPORT.

Dispositions particulières qui distinguent les véhicules des chemins de fer des véhicules routiers. — Dispositions de détail : roues munies de boudins, conicité des bandages, etc. — Condi-

---

[1] Les chemins de fer secondaires et tramways ne présentant, en général, qu'une application simplifiée des solutions adoptées pour les chemins de fer principaux, mais avec des variantes nombreuses, dont l'exposé exigerait des développements considérables, il a paru préférable de renoncer à cet exposé pour pouvoir donner plus de temps à l'étude des grands chemins de fer. Les particularités relatives aux voies de second ordre sont indiquées dans le cours toutes les fois que cela paraît utile.

Au contraire, on a dû développer explicitement plusieurs questions relatives aux automobiles, dans lesquelles se présentent des considérations très spéciales. Le cours de chemins de fer a paru être celui auquel se rattache le plus naturellement cette étude devenue indispensable. Toutefois, l'étude du moteur proprement dit reste réservée pour les cours de machines et d'électricité.

tions d'ensemble auxquelles ces véhicules doivent satisfaire : nombre et écartement des essieux, symétrie, gabarit.

2e LEÇON.

Étude préliminaire sur les conditions d'équilibre d'un véhicule et de ses essieux, eu égard aux réactions de la voie et au frottement des fusées, dans le cas d'un essieu simplement porteur. Effort supporté par la fusée.

Construction des roues : centres à rais en fer et moyeux en fonte, centres en fer forgé, centres pleins unis ou à nervures, centres en bois ou en carton; roues en fonte ou en acier moulé, sans bandages.

Bandages : profil, mode d'attache, embattage ; choix du métal; épreuves et réception.

Roues d'automobiles. Bandages en caoutchouc plein; bandages pneumatiques.

3e LEÇON.

Essieux : forme, dimensions usuelles. — Fusée : trois conditions à remplir; leur traduction en formules [1]. Relation qui en résulte entre le maximum de charge et la vitesse. — Portée de calage. — Corps de l'essieu. — Choix du métal; épreuves et réception.

Contrôle du travail effectué par les essieux. Ruptures d'essieux; visites; danger spécial des ruptures dans le moyeu.

4e LEÇON.

Graissage des fusées : son importance au point de vue de la sécurité comme de l'économie. Coussinet. Théorie du graissage. Expériences de Beauchamp Tower. Effets du mode d'introduction

---

[1] Les formules usuelles de la résistance des matériaux sont admises sans démonstration, celle-ci étant donnée dans un autre cours.

de la matière lubrifiante, de la température. — Résistance de divers corps gras. Essai des matières lubrifiantes.

Boîtes de graissage : graissage à la graisse, à l'huile, mixte. Description des principaux types de boîtes.

Essieux et boîtes d'automobiles.

5ᵉ LEÇON.

Suspension : son utilité; étude mathématique des oscillations de la masse suspendue. Flexibilités adoptées pour les diverses catégories de véhicules.

Ressorts à lames étagées; rappel des formules qui servent à les calculer; détails pratiques de construction; mode d'attache avec la boîte de graissage et avec le châssis. — Choix du métal; épreuves et réception.

Suspension des automobiles.

6ᵉ ET 7ᵉ LEÇONS.

Châssis : sa double fonction; construction en bois, en métal ou mixte. Dispositions spéciales pour les longues voitures. — Plaques de garde : leur jeu.

Châssis des automobiles.

Appareils de traction et de choc. — Disposition usuelle des attelages : chaîne d'attelage, tendeur, chaînes de sûreté. — Tampons latéraux, centraux; avantage de ces derniers au point de vue de la sécurité du personnel. — Dispositions permettant d'atteler et de dételer sans pénétrer entre les véhicules. — Liaison élastique des appareils de traction et de choc avec le véhicule; fonctionnement des ressorts au départ, à l'arrêt, pendant la marche avec tampons au contact; flexibilité, course et bande initiale. Dispositions diverses de ressorts en acier, en caoutchouc.

Influence du mode d'attelage sur la marche des véhicules, soit en

alignement droit, soit en courbe. Position du point d'attache sur l'axe du véhicule. Attelage sans chaîne, formant articulation entre deux véhicules consécutifs : attelage américain.

8e LEÇON.

Matériel américain à bogie. Véhicules à *essieux convergents.*

Étude sommaire du matériel de transport au point de vue de la *disposition des caisses.* — Vagons à marchandises; trois types principaux : plateformes, tombereaux, vagons couverts; adaptation de ces derniers au transport des troupes. — Transports spéciaux. Fourgons à bagages et à messageries.

Voitures à voyageurs; conditions réglementaires; voitures à compartiments séparés, à couloir central, à couloir latéral; leur comparaison au point de vue de l'exploitation, du bien-être des voyageurs, de la sécurité contre les attentats ou en cas d'accidents de route.

Intercommunication. — Chauffage. — Ventilation.

MATÉRIEL MOTEUR.

9e LEÇON.

Production de l'effort moteur par la rotation de la roue. Équilibre de l'essieu moteur. Valeur limite de la réaction tangentielle de la voie, eu égard aux lois du frottement. Variation du frottement avec la vitesse : adhérence. Patinage. — Cas d'un effort agissant en sens inverse : patinage inverse. — Cas d'une résistance passive : essieu freiné.

Quelques mots sur la *traction électrique :* Locomotive emportant une source d'électricité chimique ou dynamique; — Locomoteur actionné par une machine fixe.

Choix du moteur pour les automobiles.

Locomotive à vapeur : schéma général.

10ᵉ LEÇON.

Étude des réactions intérieures et extérieures d'une locomotive à vapeur.

Locomotive au repos : répartition du poids entre les essieux. Deux équations fournies par la statique des corps rigides, discussion. Emploi de balanciers ou de dispositifs équivalents pour établir un rapport déterminé entre les charges de deux essieux. — Répartition effective dans une machine sans balanciers, eu égard à la flexibilité des ressorts; interprétation des formules dans le cas d'une machine à balanciers.

Réglage des ressorts. Ponts à bascules multiples pour ce réglage.

11ᵉ ET 12ᵉ LEÇONS.

Locomotive en marche. — Variation de la répartition par l'effet des déclivités de la voie, des consommations d'eau et de combustible, de l'effort de traction.

Réactions déterminées par l'action de la vapeur. Pression sur les glissières; tension de la bielle motrice, des bielles d'accouplement.

Effort de traction : valeur moyenne, module de traction ; valeur à tout instant; sa relation avec l'accélération de la machine. — Réactions normales et tangentielles sur la voie; charge des ressorts. Oscillations résultant de l'action variable de la vapeur; influence de l'inclinaison des cylindres, de la hauteur du centre de gravité. Périodes de ces divers effets.

Écart entre l'effort moyen à la jante et l'effort maximum suivant le degré d'admission de la vapeur; conséquence au point de vue du patinage et de la charge à remorquer.

13ᵉ LEÇON.

Effets de l'inertie des pièces en mouvement relatif : deux manières de

poser le problème. — Mouvements oscillatoires de translation; mouvements de roulis et de lacet. — Calcul des contrepoids tournants; leur insuffisance; contrepoids à mouvement alternatif. — Grandeur des réactions d'inertie.

Influence des forces d'inertie dues aux mouvements oscillatoires eux-mêmes. Effet de la concordance des périodes sur l'amplitude des oscillations.

14e LEÇON.

Construction de la locomotive.

Dispositions spéciales pour faciliter le passage des machines dans les courbes. — Jeu longitudinal des essieux ; mécanismes de rappel : plans inclinés, ressorts. — Mouvement de convergence applicable aux essieux porteurs : essieu pivotant de Novotny, bogie, train Bissel, boîtes radiales, essieu Weidknecht. — Dispositions permettant un mouvement de convergence aux essieux moteurs : machines Fairlie, Rarchaert, Mallet.

Direction des automobiles.

15e LEÇON.

Détails de construction des locomotives. — Roues porteuses, motrices; relation entre le diamètre de celles-ci et la vitesse. — Essieux droits et coudés. — Suspension. — Châssis.

Disposition des locomotives : nombre et position des essieux porteurs ou moteurs. — Digression sur le porte-à-faux et la manière inexacte dont les effets en sont souvent envisagés. — Nombre et position des cylindres. — Châssis intérieur, extérieur, mixte, double. — Position du mécanisme de distribution.

16e LEÇON.

Tender : sa contenance en eau et en combustible. Longueur des parcours effectués sans arrêt. Prise d'eau sans arrêt par le procédé

de Ramsbottom. — Attelage de la machine et du tender; facilités spéciales, exigences plus grandes que pour les autres attelages; étude théorique d'un attelage rationnel; dispositions diverses.

Machines tenders : leur emploi comme machines de gare, de banlieue ou de lignes secondaires, comme machines à marchandises.

Automobiles. — Essieu moteur à l'arrière; différentiel. Démultiplication, changement de vitesse. Embrayage. — Avant-train moteur.

17e LEÇON.

Locomotive considérée comme machine à vapeur.

Production de la vapeur : deux conditions caractéristiques : chaudière tubulaire, tirage mécanique.

Pressions en usage dans les locomotives.

Description sommaire de la chaudière de locomotive, dont la construction est étudiée en détail dans un autre cours. — Grilles, emploi de la houille, conduite du feu. — Dispositions propres à réaliser la fumivorité. — Cendrier; grille à flammèches; cheminée. — Prise de vapeur et régulateur. — Abri du mécanicien; enveloppe de la chaudière.

Puissance de vaporisation. Expériences de Geoffroy et d'Henry. Diverses formules employées soit pour comparer entre elles diverses chaudières, soit pour évaluer numériquement la quantité d'eau vaporisée.

18e LEÇON.

Alimentation : convenance d'avoir deux appareils distincts; précautions à observer par le mécanicien dans l'emploi de l'alimentation.

Injecteur Giffard et types dérivés; pompes alimentaires. — Insertion du tuyau de refoulement sur la chaudière.

Échappement, son emploi essentiel pour produire le tirage.

Divers procédés proposés pour en utiliser partiellement la chaleur. Maximum de l'économie réalisable par le chauffage préalable de l'eau d'alimentation.

Formule de Zeuner. Effets de l'échappement variable. Disposition de l'échappement : à buse rectangulaire, à noyau, annulaire. Petticoat. — Souffleur.

19e LEÇON.

Emploi de la vapeur : renvoi au cours de machines pour l'étude complète de la question; on se borne ici à quelques renseignements pratiques concernant spécialement les locomotives.

Rappel des conditions générales de fonctionnement de la distribution par tiroir à coquille avec avance et recouvrement; données particulières dans le cas des locomotives. — Tiroirs équilibrés, tiroirs cylindriques. — Marche à régulateur fermé : soupapes de rentrée d'air.

Distributions par coulisses. Distributions à un seul excentrique. Essais de dispositifs perfectionnés.

Appareils de changement de marche à levier, à vis. — Contrepoids de vapeur.

20e LEÇON.

Marche à contre-vapeur. Injection d'eau ou de vapeur pour en éviter les inconvénients.

Emploi de la double détente dans les locomotives : machines compound proprement dites, machines dérivées du type de Woolf. Machines à deux, trois, quatre cylindres. Dispositions spéciales pour le démarrage.

TRACTION.

21e LEÇON.

Résistance des trains :

Résistance du train brut, du train remorqué; train élémentaire de M. Desdouits.

Étude individuelle des différentes causes de résistance. — Résistance à la jante. — Résistance à la fusée; explication des résultats discordants obtenus par divers observateurs. — Résistance de l'air; influence des dimensions absolues et de la forme des véhicules; importance de cette résistance dans les grandes vitesses; effet d'un vent latéral. Influence du groupement des véhicules dans les trains de marchandises.

22e LEÇON.

Étude en bloc de la résistance d'un véhicule ou d'un train; divers modes d'observation : pente d'équilibre, dynamomètres, mesure de l'accélération. — Résultats observés : véhicule isolé, machine et son mécanisme, train élémentaire, train complet. — Formules usuelles.

Résistance due aux courbes : influence de la conicité des bandages, du jeu de la voie, du jeu des plaques de garde et de la convergence des essieux, des attelages. Formules empiriques. Expériences de la commission dite des petits rayons.

Résistance spéciale à l'entrée et à la sortie des courbes, au démarrage et au refoulement.

Exemples numériques de la résistance d'un train de voyageurs ou de marchandises dans diverses circonstances.

23e ET 24e LEÇONS.

Corrélation entre la machine et le train.

Charge que peut remorquer une machine : 1° d'après le travail de la vapeur; 2° d'après l'adhérence. — Marche à suivre pour établir le projet d'une machine destinée à faire un service donné. — Sections de charge, rampes fictives. — Consommation de combustible et d'eau. Allocations aux mécaniciens, primes. — Travail des mécaniciens et chauffeurs. Roulements. — Nombre de locomotives nécessaires pour le service d'une ligne.

Organisation d'un service du matériel et de la traction.

Résistance des automobiles. Puissance du moteur.

FREINS.

25° LEÇON.

Nécessité des freins, leurs fonctions. — Freins à patins et freins à sabots; supériorité de ces derniers. — Règles générales à observer dans l'installation et l'emploi des freins à sabots. Relation entre la pression du sabot et la force retardatrice. Calage des roues, ses effets. — *Nombre de freins* nécessaires pour arrêter dans un parcours donné. Dispositions réglementaires les concernant.

Timonnerie des freins : utilisation des diverses machines simples pour amplifier l'effort.

Commande des freins : freins actionnés par la main de l'homme directement : freins à vis, — ou avec emmagasinement du travail : freins à ressorts, à contrepoids. — Freins empruntant l'effort moteur à la force vive du train : freins à arcboutement, à entraînement, freins automoteurs.

Freins de manœuvres pour les vagons à marchandises.

26° LEÇON.

Freins continus : leurs avantages au point de vue de la sécurité, au point de vue de l'exploitation; prescriptions administratives les concernant. — Conditions générales de fonctionnement. Propriétés à distinguer dans un frein continu : énergie ou pression des sabots sur les roues; simultanéité, rapidité et modérabilité au serrage et au desserrage; automaticité, arrêt automatique en un point donné de la voie.

Trois moyens de transmettre l'action motrice d'un véhicule à l'autre : transmissions mécaniques, fluides canalisés, électricité. —

Insuffisance pratique des transmissions mécaniques. — Transmissions pneumatiques par l'air comprimé, par le vide; freins directs, freins automatiques; Westinghouse, Wenger. — Transmission électrique : Achard. — Freins pneumatiques à commande électrique.

Application des freins continus aux trains de marchandises; difficultés de la question.

Freins d'automobiles.

VOIE.

VOIE PROPREMENT DITE.

27e LEÇON.

Généralités sur la largeur de la voie : voie normale, voie large de Brunel, voie étroite.

Deux conditions distinctes auxquelles doit satisfaire le rail : 1° porter et guider les roues; 2° se prêter à la liaison avec les supports.

Voies sur supports discontinus. — Deux solutions : rail à double champignon, rail à patin. Poids par mètre courant; travail maximum du métal. Profil du bourrelet supérieur, de la base.

28e LEÇON.

Longueur des barres. Choix du métal; épreuves et réception. Durée des rails.

Voies sur traverses en bois. — Mode d'attache du rail sur la traverse : coussinets, selles, semelles de feutre; chevillettes, crampons, tirefonds.

Joints, leur position : sur la traverse ou en porte-à-faux, concordants ou chevauchés. — Éclissage. — Entraînement des rails, moyens de le combattre.

29e LEÇON.

Espacement des traverses; leurs dimensions. — Choix de l'essence, préparation du bois, façon de la traverse; sa durée.

Traverses en fer ou en acier, laminées ou forgées, simples ou assemblées; attache du rail.

Voies sur dés en pierre, sur cloches ou plateaux en métal.

Voie sur longrines. — Longrines en bois : voie Brunel. — Inconvénients de ces voies atténués en partie par l'emploi de longrines métalliques. Rails-longrines : Barlow, Hartwig. Rails sur longrines en fer : voie Hilf. — État actuel de la question.

30e LEÇON.

Particularités de la voie dans les courbes. — Rails longs et rails courts. — Surécartement, surhaussement du rail extérieur; théorie, formules usuelles. — Raccordement des courbes avec les alignements : 1° sans transition dans la courbure; 2° avec interposition d'un ou plusieurs arcs à courbures graduées. — Raccordement de deux courbes consécutives de sens inverse.

31e LEÇON.

Croisement de deux voies à niveau : traversées d'équerre, traversées obliques.

Changements de voies : conditions théoriques : longueur et angle du croisement, longueur de la partie mobile. — Valeurs assignées à ces éléments dans la pratique.

Dispositions mécaniques du changement : rails mobiles, aiguilles. — Changement double. — Changement Wharton. — Appareils de manœuvre des aiguilles : leviers, tringles, entretoises; contrepoids mobiles ou fixes; pédale Barbier pour faciliter la manœuvre des aiguilles à contrepoids fixe.

32e LEÇON.

Manœuvre des aiguilles à distance, son utilité; transmission par tiges rigides, par fils.

Accidents qui se produisent sur les aiguilles. — Service des aiguilleurs.

Dispositifs propres à prévenir les accidents sur les aiguilles en pointe. Verrous divers; verrou-aiguille; pédales de calage, pédales électriques. — Contrôle électrique du contact.

Traversées-jonctions simples, doubles.

Étude géométrique du raccordement des voies par changements et traversées.

Disposition des bifurcations : avec croisement à niveau, avec croisement sous rails, sans aiguille en pointe.

33e LEÇON.

Plaques tournantes pour vagons ou voitures, pour machines avec tenders; ponts tournants. — *Chariots* en fosses, à niveau. — *Heurtoirs,* taquets et blocs d'arrêt.

Passages à niveau; dispositions de la voie, dispositions du chemin transversal. — Barrières pivotantes ou roulantes; barrières manœuvrées à distance; passages pour piétons, passages sans barrières.

Classification et réglementation des passages à niveau : gardiennage de jour, de nuit; service des passages voisins des gares. — Passages non gardés.

Ballast, sa fonction, conditions qu'il doit remplir. Matériaux naturels : gravier, sable, pierre cassée; — matériaux artificiels : argile cuite, laitiers. — Profil du ballast. — Entretien : bourrage, rechargement, épuration, renouvellement. — Procédés pour empêcher la poussière.

Pose de la voie, surveillance, entretien.

34ᵉ LEÇON.

Indication sommaire des dispositions de la plateforme. — Raccordement des parties de déclivité différente. — Talus de remblai et de déblai, fossés, clôtures sèches et vives. — Passages par dessus ou par dessous; déviation des chemins ruraux. — Largeur totale d'emprise.

Notions générales sur l'établissement d'un chemin de fer : considérations d'ordre supérieur qui en fixent les points principaux; considérations d'ordre technique qui président à la détermination du tracé. — Conditions générales de déclivité et de courbure; traversée des faîtes, des grandes vallées; emplacement des stations. — Étude préliminaire sur la carte; étude sur le terrain.

Procédés spéciaux pour franchir certains points en terrain accidenté : rebroussements, souterrains en hélice, plans inclinés funiculaires, crémaillères.

Organisation du service de la construction et de l'entretien des lignes.

GARES.

35ᵉ LEÇON.

Consistance générale d'une gare pour voyageurs, pour marchandises. — Longueur des voies pour trains de voyageurs, de marchandises; dimensions des trottoirs. — Intervalle à réserver entre les voies.

Arrêts sans installations spéciales. — *Haltes.* — *Stations ordinaires :* position par rapport aux localités, par rapport au passage à niveau voisin; liaisons de voies. Position de la gare des marchandises par rapport à celle des voyageurs et aux voies, par rapport aux localités desservies; voies de garage, garages en pleine voie. Motifs d'éviter les aiguilles en pointe.

Stations de prise d'eau, leur espacement, leur approvisionnement; grues hydrauliques.

Stations à remises de voitures ou de machines.

Stations de bifurcation : nombre et disposition des voies; nécessité ou convenance d'admettre les aiguilles en pointe. — Stations de raccordement avec les lignes à voie étroite.

36ᵉ LEÇON.

Grandes gares de bifurcation ou têtes de lignes : service de banlieue et service de grandes lignes; messageries; service de la traction; voies de réception et de formation pour les trains de marchandises. — Triage : à la machine, par la gravité; gares spéciales de triage aux abords des grandes villes.

Construction des gares : trottoirs, abris, couverture des trottoirs et des voies; quais à marchandises couverts ou découverts, halles de transbordement; installations mécaniques pour manutentions. — Disposition des bâtiments pour voyageurs.

Remises et dépôts de machines. — Nombre des fosses nécessaires. — Dépôts en secteurs, en rotonde, rectangulaires. — Voies d'accès. — Approvisionnement de combustible. — Ateliers d'entretien, corps de garde et dortoirs, logements.

EXPLOITATION.

SIGNAUX.

37ᵉ ET 38ᵉ LEÇONS.

Les signaux proprement dits servent principalement aux communications entre les agents des trains et les agents sédentaires; quelques-uns cependant servent à l'échange de communications entre les agents d'un même train. — Sont régis en France par le code des signaux du 15 novembre 1885.

Signaux optiques ou visuels; signaux acoustiques ou sonores : avantages, inconvénients et conditions particulières d'emploi des uns et des autres. — Généralités sur la forme, la couleur et le son des signaux. — Obéissance absolue de tout agent aux signaux.

Signaux de trains : signaux du mécanicien, des conducteurs. — Signaux de trains proprement dits : signal de queue, annonce des circulations extraordinaires, signaux annonçant la nature ou la destination d'un train.

Signal de départ, son importance. Signaux des manœuvres à la machine.

Signaux de la voie proprement dits : principes fondamentaux.

Signaux mobiles ou portatifs; signification précise de l'ordre d'arrêt donné à l'aide de ces signaux. — Pétards; autres moyens de protection des trains ralentis.

Signaux fixes : disque, signal carré, sémaphore; signification particulière, en France, de l'ordre d'arrêt donné au moyen de chacun de ces appareils. — Poteau-limite de protection. — Disque de ralentissement. — Indicateur de bifurcation. — Signaux d'aiguilles.

Sifflet électro-automoteur et autres moyens de faire répéter sur le train même l'ordre donné par un signal fixe.

Organisation des signaux aux bifurcations, aux gares.

Signaux en usage à l'étranger.

39e ET 40e LEÇONS.

Manœuvre des signaux à distance : transmissions à un seul fil, à deux fils; compensateurs de dilatation. — Commande d'un signal par plusieurs leviers; désengageurs.

Manœuvre automatique des signaux par les trains.

Enclenchement des signaux entre eux ou avec les appareils de

la voie; cas où il convient d'en faire usage; dispositions réglementaires en France à ce sujet.

Principes généraux : enclenchements binaires; enclenchements multiples ou conditionnels; principe de réciprocité; enclenchements indirects. — Notations.

Enclenchements sur place : entre les leviers : Vignier, Stevens; — entre les manettes des leviers: Saxby et Farmer. — Combinaison de plus de deux leviers.

Enclenchements à distance : mécaniques, électriques.

Enclenchements par serrures : Annett, Bouré.

Étude et vérification d'un projet d'enclenchements : exemples.

EXPLOITATION TECHNIQUE (1).

41e LEÇON.

Formation des trains : gares de formation. Trains de voyageurs, de marchandises, mixtes, trains légers. — Prescriptions administratives touchant la composition de ces trains; règles techniques. — Répartition du matériel entre les gares. — Chargement des marchandises. — Dispositions relatives aux matières explosives ou inflammables et à certaines autres matières. — Position de la machine. — Personnel d'un train; roulements.

Circulation des trains : Service au départ, service en route. — Manière d'établir la marche d'un train : marches-types. Importance d'une marche bien établie. — Différentes sortes de vitesses. — Moyens de contrôle de la vitesse et de la marche. — Arrêts normaux aux stations. Correspondance aux stations de bifurcation.

Moyens d'empêcher la rencontre des trains.

Étude de leur position relative à tout instant au moyen des graphiques.

---

(1) Les questions commerciales, de même que celles d'ordre législatif et financier, sont traitées dans d'autres cours.

12.

Trains de même sens. — Sens de la marche en double voie. — Espacement au départ. — Dépassement. — Couverture en cas de ralentissement et d'arrêt. — Espacement des trains par la méthode de l'intervalle de temps, par celle du cantonnement ou block-system.

42ᵉ LEÇON.

Cantonnement absolu, permissif. — Appareils établissant la solidarité entre les indications transmises d'un poste à l'autre et les signaux présentés aux trains. — Indépendance ou solidarité des sections successives. — Intervention automatique des trains dans le cantonnement.

Trains de sens contraires en voie unique. — Agent spécial de la voie unique. — Annonce des trains réguliers, des circulations extraordinaires. — Changements de croisement, dépassements. — Exploitation en navette; bâton pilote et systèmes perfectionnés s'y rattachant. — Demande de voie par le télégraphe; cloches électriques. — Appareils de cantonnement appliqués à la voie unique.

Circulations extraordinaires : trains facultatifs, trains supplémentaires, trains spéciaux; trains de ballast et de matériaux.

Perturbations et incidents dans la marche des trains : retards, détresses, secours. — Machines de réserve. — Ruptures d'attelages. — Circulation temporaire à voie unique. — Pilotage double.

Organisation d'un service de l'exploitation.

COURS D'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE.

M. POTIER,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, MEMBRE DE L'INSTITUT, PROFESSEUR.

1re LEÇON.

Considérations générales sur la production et l'utilisation des courants électriques. — Appareils générateurs. — Appareils récepteurs, moteurs, lampes, fours et appareils électrolytiques. — Accumulateurs et transformateurs.

CANALISATION.

Conducteurs. — Cuivre, bronze, aluminium, fer. — Propriétés mécaniques et électriques.

Isolants. — Caoutchouc, gutta, papier, mica, huiles, etc. — Résistivité et rigidité diélectrique.

2e LEÇON.

Canalisations aériennes. — Portées et flèches; influence des changements de température sur la tension. — Coefficient de sécurité. — Isolateurs; verre et porcelaine; formes diverses. — Essais. — Supports et traverses. — Jonctions et soudures. — Poteaux.

3e LEÇON.

Distributions intérieures. — Fixation aux murs; emploi des moulures, des tubes, des supports en porcelaine. — Traversée des plafonds et des murs; jonctions et prises de courant. — Calcul de

la section la plus économique. — Limites acceptées pour l'échauffement.

Canalisations souterraines. — Caniveaux, systèmes à tirage. — Câbles; types divers; câbles sous plomb, câbles concentriques; câbles armés. — Essais. — Boîtes de jonction et de prises de courant.

DISTRIBUTION PROPREMENT DITE.

4e LEÇON.

Généralités. — Avantages économiques de la haute tension. — Principes à suivre dans le calcul des conducteurs.

Loi de Thomson et réserves qu'elle comporte.

Courants continus :

Rappel des lois de Kirchhoff.

Distribution en série.

Distribution en dérivation; systèmes à 3 et à 5 fils; égalisateurs; constitution des réseaux; section des distributeurs et des feeders.

Notions sur les réseaux de traction; précautions contre l'électrolyse.

5e ET 6e LEÇONS.

Courants alternatifs :

Définition des intensités, forces électromotrices et différences de potentiel efficaces. — Procédés de calcul et représentation graphique des fonctions sinusoïdales du temps. — Réactance, capacité et impédance des lignes. — Calcul des pertes d'énergie et des pertes de charge. — Influence de la nature des récepteurs. — Influence du diamètre des conducteurs et de la fréquence. — Précautions à prendre dans l'emploi des instruments de mesure, notamment des wattmètres.

Distribution en série. - Distribution en dérivation, avec ou

sans postes de transformateurs. — Systèmes à 3 fils; égalisateurs. — Dangers spéciaux aux courants alternatifs.

Courants polyphasés.

Montages divers, en étoile ou polygonaux, des appareils générateurs et récepteurs. — Mesure de la puissance. — Calcul des poids des conducteurs. — Courants diphasés indépendants ou avec retour commun. — Courants triphasés avec ou sans retour. — Emploi des commutatrices ou des redresseurs.

Appareils accessoires de sécurité et de réglage. — Coupe-circuits, fusibles et magnétiques. — Parafoudre. — Interrupteurs. — Commutateurs. — Rhéostats. — Tableaux.

Isolement. — Définition et mesure. — Indicateurs de terre.

Accumulateurs. — Leur rôle dans une distribution. — Modes de charge et de décharge.

MACHINES. — PRÉLIMINAIRES.

7e LEÇON.

Loi fondamentale de l'électro-magnétisme; circuit magnétique; analogies avec les lois du courant permanent. — Courbes de perméabilité de la fonte, de l'acier, du fer.

Application aux électro-aimants proprement dits. — Formes diverses; plongeurs, électros cuirassés, électros à longue course.

8e LEÇON.

Application aux circuits des machines: calcul des flux dans les machines bi ou multipolaires. — Dispersion magnétique, coefficient d'Hopkinson. — Formules de Forbes. — Calcul approché des dérivations magnétiques.

Déformation du champ inducteur par les courants d'armature; effet du décalage des balais.

9ᵉ LEÇON.

Induits dentés; influence de la saturation des dents. — Bobinage des électros. — Relation entre les ampères-tours, la puissance consommée et le poids de cuivre. — Limites pratiques de l'échauffement; influence de la ventilation.

10ᵉ LEÇON.

Hystérésis; calcul de sa valeur déduite de la courbe du magnétisme. — Lois approximatives. — Courants parasites dans le fer. — Moyen de les diminuer. — Rôle de l'hystérésis dans les appareils à courant alternatif. — Bobines de réaction. — Procédés directs de mesure de l'hystérésis. — Données numériques pour des tôles d'épaisseurs diverses.

MACHINES À COURANT CONTINU.

11ᵉ LEÇON.

Machines bipolaires, enroulement en anneau ou en tambour. — Force électro-motrice. — Puissance. — Réversibilité.

12ᵉ LEÇON.

Commutation. — Réaction d'induit. — Calage des balais.

13ᵉ LEÇON.

Machines multipolaires. — Enroulements divers, imbriqués, ondulés. — Groupement des éléments en série, en quantité, et mixtes.

14ᵉ ET 15ᵉ LEÇONS.

Modes d'excitation; excitation indépendante, en série, en dérivation et mixte. — Caractéristique des divers types. — Couplage des dynamos, en série ou en parallèle.

Pertes par courants parasites dans le cuivre. — Induits lisses, dentés et à trous.

16ᵉ, 17ᵉ ET 18ᵉ LEÇONS.

Moteurs à courant continu. — Caractéristiques mécaniques des moteurs en série et en dérivation. — Appareils de démarrage et de commande. — Exemples d'appareils de levage, de réglage de moteurs de traction.

Rendement des dynamos. — Prévision. — Sa détermination, méthodes directes et indirectes. — Incertitudes de la mesure par les pertes à vide.

Rendement d'une transmission. — Exemples.

19ᵉ LEÇON.

Transformateurs rotatifs à courant continu. — Survolteurs.

Calcul des éléments d'une machine fonctionnant dans des conditions déterminées.

Détails de construction. — Balais et porte-balais. — Liaison de l'arbre et de l'armature. — Bobinages des anneaux et tambours. — Bobinage sur gabarits. — Frettage.

ALTERNATEURS.

20ᵉ ET 21ᵉ LEÇONS.

Alternateurs simples, divers modes d'enroulement; formes des inducteurs. — Force électro-motrice. — Types à induit mobile, à induit fixe, à fer tournant.

Alternateurs polyphasés, modes de montage.

22ᵉ LEÇON.

Fonctionnement des alternateurs. — Caractéristique à vide. — Caractéristique en court circuit. — Influence de la nature des récepteurs sur la puissance disponible.

23ᵉ ET 24ᵉ LEÇONS.

Transformateurs. — Types à noyau, à coquille.

Influence de la dispersion sur la régularité du voltage. — Pertes à vide et en charge. — Détails de construction. — Emplois divers des transformateurs. — Leur essai.

Auto-transformateurs. — Survolteurs.

25e, 26e ET 27e LEÇONS.

Moteurs asynchrones ou à champ tournant. — Leur théorie. — Courants induits dans un ensemble de circuits fermés mobiles dans un champ fixe, ou dans un champ tournant; couple et puissance en fonction du glissement. — Production des champs tournants. — Fonctionnement à intensité constante, à potentiel constant. — Influence de la dispersion magnétique sur le couple et le facteur de puissance. — Conditions de démarrage. — Groupement en cascade.

28e LEÇON.

Moteurs asynchrones à courant alternatif simple. — Artifices de démarrage.

Application aux compteurs pour courants alternatifs.

29e LEÇON.

Moteurs synchrones. — Influence de l'excitation sur le décalage des courants. — Leur rôle dans un réseau. — Surcharge ou oscillations pouvant amener le décrochage.

30e LEÇON.

Couplage des alternateurs en parallèle. — Précautions à prendre. — Dispositifs de synchronisation. — Utilité des amortisseurs.

31e LEÇON.

Redresseurs de courant.

Commutatrices; rôle du nombre des phases, de la largeur des pôles.

Transformateurs redresseurs.

APPLICATIONS DIVERSES.

32e ET 33e LEÇONS.

Éclairage par incandescence. — Éclairage par arc voltaïque. — Types de régulateurs. — Conditions de fonctionnement.

34e ET 35e LEÇONS.

Applications thermiques et chimiques. — Fours. — Carbure de calcium, de silicium. — Aluminium. — Raffinage du cuivre. — Fabrication des chlorates, hypochlorites et alcalis.

COURS DE CONSTRUCTION.

M. HUMBERT,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, PROFESSEUR.

1re LEÇON.

Résistance à la traction et à la compression. — Limite d'élasticité; limité d'élasticité proportionnelle; module d'élasticité. Formule des allongements et raccourcissements. Charge de sécurité.

Valeurs numériques des coefficients principaux pour les matériaux usuels. Expériences de Wöhler, Bauschinger, etc., sur l'application répétée d'une même charge; cas où les efforts changent de sens.

Flexion; calcul des composantes de l'effort élastique en un point de la section droite. Fibre neutre; répartition des efforts longitudinaux dans une section; répartition des efforts transversaux.

2e ET 3e LEÇONS.

Moment fléchissant, effort tranchant dans une section. Conditions de résistance de la pièce. Forme de la fibre moyenne après déformation.

Valeurs des moments d'inertie et des éléments géométriques utiles pour les formes de sections les plus usuelles. Section en T et double T.

Exemples simples de poutres droites :

1° Poutre chargée uniformément, reposant sur deux appuis de niveau. Courbe élastique, flèche;

2° Cas où il y a en outre un poids appliqué directement en un point de la poutre. — Cas particuliers divers;

3° Poutre encastrée à une extrémité et chargée uniformément; cas où un poids agit directement à l'extrémité libre;

4° Poutre encastrée à une extrémité, appuyée à l'autre, et chargée uniformément;

5° Poutre encastrée aux deux extrémités et chargée uniformément; avantage de l'encastrement.

4e LEÇON.

Calcul des moments fléchissants par la statique graphique, dans les cas précédents.

Solides d'égale résistance à la flexion; exemples divers.

Poutres reposant sur plus de deux appuis; indications générales; théorème des trois moments.

Pièces chargées debout : formule d'Euler; expériences de M. Considère; formules expérimentales qui en résultent.

5e LEÇON.

Calcul des colonnes en fonte par la formule d'Euler; cas des colonnes creuses. Formule de Rankine pour les pièces chargées debout; application au calcul des pièces longues soumises à une compression et à une flexion.

Torsion des cylindres droits : effort élastique maximum; angle de torsion. Module d'élasticité de torsion. Condition de résistance du cylindre tordu. Torsion et flexion simultanées.

6e ET 7e LEÇONS.

Planchers en bois et en fer : Calcul des solives et des poutres; données numériques sur le poids propre des planchers.

Poutres composées en fer à âme pleine. Chiffres usuels pour le diamètre des rivets, leur écartement, leur position sur les ailes des cornières, en fonction de la largeur des ailes des cornières. Calcul de l'épaisseur des tables et de l'épaisseur de l'âme. Formules pour la vérification du rivetage. Joints et couvre-joints sur les tables, les cornières et l'âme : épaisseur et rivetage des couvre-joints.

Application numérique au calcul d'un tablier : calcul des deux poutres principales, des entretoises et des longerons.

Systèmes articulés : les pièces ne travaillent qu'à la traction et à la compression si les forces extérieures ne sont appliquées qu'aux nœuds et si le système est librement dilatable. Méthodes graphiques pour obtenir les tensions et compressions des barres : méthode des nœuds; méthode des sections.

8e ET 9e LEÇONS.

Poutres en treillis; calcul des membrures.

Calcul numérique d'un treillis simple; distinction entre les barres tendues et les barres comprimées. Rivetage d'une barre sur les membrures. Poutres en V, en N. Inclinaison des barres de treillis.

Calcul d'un treillis multiple; treillis à barres surabondantes; croix de Saint-André.

Calcul graphique en supposant le système articulé.

Application aux fermes de toitures; données numériques sur les efforts à supporter; poids de la toiture, neige, vent. Fermes triangulaires simples; ferme Polonceau à une bielle.

Ferme Polonceau à trois bielles; application simultanée de la méthode des nœuds et de la méthode des sections. Ferme à pans inégaux.

Piles métalliques. Chevalements de mines : calcul des arbalétriers et des poutrelles principales.

10ᵉ ET 11ᵉ LEÇONS.

Organes principaux des machines à vapeur. — Formules empiriques diverses pour l'épaisseur des parois du cylindre, de la boîte à tiroir, etc.

Tiges de piston : vérification du diamètre par la formule de Rankine, assemblage de la tige du piston et de la crosse.

Patins ; calcul de la surface glissante. Glissières.

Bielles : vérification des dimensions par la formule de Rankine.

Calcul des tiges de piston en tenant compte des forces d'inertie.

Calcul des bielles en tenant compte des forces d'inertie : fouettement de la bielle dans le plan du mouvement ; point le plus fatigué. Exemples numériques.

Bielles d'accouplement des locomotives ; fatigue maximum. Exemple.

12ᵉ, 13ᵉ ET 14ᵉ LEÇONS.

Boulons et vis. Système international pour l'unification des filetages : règles fondamentales, règles accessoires.

Tourillons à charge transversale : condition de résistance, condition de graissage. Formules usuelles pour les dimensions des tourillons frontaux et des tourillons à fourchette. Manetons de manivelles. Fusées d'essieux de wagons. Tourillons à collets. Travail du frottement par unité de surface ; travail total.

Tourillons à charge longitudinale. Pivots. Tourillons d'appui à collets et à cannelures. Avantages et inconvénients.

Calcul des arbres. — Arbres ou parties d'arbres soumis à la flexion, sans torsion sensible ; essieux de wagons.

Arbres soumis à des efforts de torsion, sans flexion sensible : condition de résistance; condition relative à l'angle de torsion. Formules correspondantes pour le diamètre de l'arbre. Expression du moment de torsion en fonction du nombre de chevaux transmis.

Exemples numériques.

Arbres soumis à des efforts de torsion et de flexion. Cas particuliers divers; calcul du moment fléchissant dans le cas d'efforts normaux à l'arbre, mais dans des directions différentes.

Arbres de machines à vapeur; arbres de machines d'extraction : méthode analytique et méthode graphique pour étudier leurs conditions de résistance.

Formules empiriques pour les arbres moteurs.

Plateaux de jonction; calcul des boulons.

15ᵉ ET 16ᵉ LEÇONS.

Manivelles : données usuelles en fonction des diamètres de l'arbre et du maneton.

Vérification des dimensions. Fixation des manivelles sur les arbres; cales et clavettes, dimensions usuelles.

Formule de Lamé pour la résistance d'un cylindre creux soumis intérieurement et extérieurement à une pression normale.

Application au calage à froid d'un anneau sur un arbre. Épaisseur à donner à l'anneau pour résister à une pression fixée d'avance; différence entre les diamètres de l'anneau et du noyau avant le calage pour que cette pression soit obtenue.

Emploi du manomètre. Application au calage d'une roue motrice de locomotive sur son essieu.

Résistance des tuyaux d'eau.

Engrenages : rappel des propriétés cinématiques et des tracés géométriques pour les engrenages épicycloïdaux et à développante.

Pas, pas diamétral. Profils usuels déterminés en fonction du pas ou du pas diamétral. Hauteur des dents; cercle de tête, cercle de pied; jeu.

Tracé usuel des dents d'une crémaillière.

17[e] LEÇON.

Résistance des engrenages; largeur des dents perpendiculairement au profil.

Conditions relatives à l'usure. Choix de la matière.

Limite de la vitesse tangentielle des engrenages. Limite inférieure du nombre des dents.

Calcul des jantes, des bras et des moyeux; nombre des bras : formules empiriques ou théoriques.

Exemples de calculs d'engrenages selon les conditions initiales imposées.

18[e] ET 19[e] LEÇONS.

Chaînes; catégories diverses, dimensions usuelles. Épreuve d'une chaîne; vérification des dimensions d'une chaîne en service.

Câbles métalliques; dispositions usuelles; poids moyen par mètre courant. Dimensions habituelles des fils. Résistance des câbles en tenant compte de la tension d'incurvation au passage sur les poulies.

Relation entre les tensions des deux brins d'un fil qui embrasse une poulie en mouvement : rappel de la formule; valeurs du coefficient de frottement.

Courroies de transmission. Condition d'adhérence; condition de résistance. Valeurs numériques des coefficients de résistance pour les divers types de courroies. Importance de l'effet de la force centrifuge. Allongement.

Courroies en cuir, en coton, en caoutchouc et toile. Calcul des câbles en chanvre et coton.

Limite de la vitesse tangentielle des courroies. Poulies; dimensions empiriques usuelles; bombement. Rapport du diamètre des deux poulies; distance d'axe en axe.

Transmission par **câbles télédynamiques**; formules approchées pour la forme du câble en mouvement. Tension. Calcul de la fatigue maximum; calcul de la section métallique.

Valeurs usuelles de la vitesse.

Tracés paraboliques des câbles.

Épissures, agrafes. Entretien des câbles; action de la température; allongements permanents; opérations de raccourcissement.

Poulies des câbles; dimensions usuelles.

Transmission par chaînes.

20e ET 21e LEÇONS.

Calcul des volants. Données de la question. Limite de la vitesse tangentielle.

Étude des conditions de résistance du volant : jante, bras.

Détermination de la vitesse angulaire et de l'accélération angulaire.

Moyeu du volant.

Jonction des segments de la jante : résistance des clavettes.

Ressorts à **lames** : maîtresse lame; étagement; lames de renforcement. Forme de l'amincissement.

Flexibilité et raideur. Formule de Phillips pour la diminution de flèche; fatigue maximum. Conditions de résistance et de flexibilité. Poids d'un ressort. Ressorts à boudin.

22e LEÇON.

Généralités sur les matériaux des **maçonneries**; données numériques sur la densité et la résistance à l'écrasement.

Dilatabilité; action des agents atmosphériques. Qualités et défauts des pierres. Taille des pierres.

Chaux et ciments; emplois, conservation et transport.

Sables.

Mortiers. Dosages usuels des mortiers de chaux grasse ou hydraulique.

Préparation du mortier sur les chantiers; procédés mécaniques.

Dosages usuels des mortiers de ciment; préparation.

Mortiers non gélifs.

Mortiers de plâtre.

Bétons; dosages usuels. Fabrication et pose. Bétons de ciment

Prix de revient des mortiers et bétons.

23ᵉ ET 24ᵉ LEÇONS.

Exécution des maçonneries. Maçonneries en pierres de taille; en moëllons; en meulières; en briques.

Prix de revient au mètre cube maçonné.

Maçonneries mixtes.

Fondations. — Fondations hors de l'eau; étude de la résistance du sol. Terrains incompressibles et inaffouillables. Terrains incompressibles et affouillables, parafouilles profonds et superficiels. Parafouilles en béton.

Terrains compressibles et homogènes; procédés divers pour diminuer la charge par unité de surface.

Plateformes en bois ou en fer; radiers en béton.

Terrains compressibles et non homogènes; fondations sur puits en béton.

Terrains aquifères. Épuisement, bâtardeaux; encaissements. Fondations sur pilotis; pieux, sabots, battage des pieux.

Murs en élévation. — Catégories diverses; dimensions usuelles. Baies : portes et fenêtres; jambages; linteaux; appuis.

25e LEÇON.

Voûtes. — Catégories diverses. Tracé de l'intrados et de l'extrados; épaisseur à la clef, épaisseur des piédroits.

Construction. Voûtes en pierres de taille; appareil; cintres, couchis. Pose et dépose des cintres. Voûtes en moëllons; en meulières; en briques.

Plates-bandes; profil et appareil; épaisseur des piédroits.

Étude des conditions de résistance d'une voûte par la méthode de Méry.

COURS DE LÉGISLATION.

M. AGUILLON,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES, PROFESSEUR.

PEEMIÈRE PARTIE.

(Leçons 1 à 17.)

GÉNÉRALITÉS.

1re ET 2e LEÇONS.

Préliminaires : objet du cours ; — définition et division du droit.

Droit constitutionnel. — Principes du droit public moderne ; — organisation, attributions et fonctionnement des grands pouvoirs publics : Sénat, Chambre des députés, Président de la République.

Généralités sur les lois : délimitation des pouvoirs législatif et exécutif ; — du pouvoir réglementaire ; — actes ayant la portée législative ; — titre préliminaire du Code civil ; — application et interprétation des lois : jurisprudence, doctrine.

Droit administratif. — *Généralités :* distinction entre le gouvernement et l'administration ; — intérêts collectifs généraux ; locaux ; spéciaux ; organisation générale des autorités chargées de leur gestion.

3e, 4e ET 5e LEÇONS.

Autorités administratives. — *Administration centrale :* Président de la République ; — Ministres ; Sous-Secrétaires d'État ; organisation des Ministères ; — Conseil d'État : organisation géné-

rale ; attributions et fonctionnement en matière législative et administrative.

Administration départementale: préfet ; — secrétaire général de la préfecture ; — conseil de préfecture : organisation et fonctionnement en matière administrative ; — conseil général ; — commission départementale ; — sous-préfet ; — conseil d'arrondissement.

Administration communale : maire ; police municipale ; adjoint ; conseil municipal ;

Régime exceptionnel de la Seine ; du Rhône ; de Paris et de Lyon ;

Services publics spécialisés ;

Agents auxiliaires : administrations publiques diverses ;

Établissements publics ; — Établissements d'utilité publique.

6e, 7e ET 8e LEÇONS.

Autorité judiciaire. — *Généralités :* rôle et compétence de l'autorité judiciaire ; — organisation générale : juridiction ordinaire et juridictions spéciales ; contentieuses et pénales ;

Juridictions contentieuses (organisation et compétence) : juge de paix ; — tribunal civil ; — cour d'appel ; — tribunal de commerce ; — prud'hommes (renvoi) ; — arbitrages.

Aperçu sur la procédure civile : assignation ; — compétence ; — modes d'instruction ; — expertises ; — jugements ; — voies de réformation et de recours ; — exécution.

Éléments de droit pénal : crimes ; délits ; contraventions ; — pénalités ; — police judiciaire ; — instruction criminelle ; — juridictions pénales.

Cour de cassation.

9ᵉ ET 10ᵉ LEÇONS.

Juridiction administrative. — *Généralités :* rôle et place de la juridiction administrative ; — délimitation de compétence avec l'autorité judiciaire ; — contentieux de pleine juridiction ; de l'interprétation ; de l'excès de pouvoir ; de répression ;

Juridictions administratives : conseil de préfecture ; — Conseil d'État ;

Conflits.

11ᵉ, 12ᵉ, 13ᵉ ET 14ᵉ LEÇONS.

Éléments de droit privé. — *Généralités de droit civil :* des personnes et de leur capacité ; personnes morales ; des biens ; des droits réels et personnels ; des actions ; — distinction des biens : immeubles et meubles ; domaine public ; *res communes* et *res nullius ;* — droit de propriété ; possession ; accession ; communauté ; licitation ; — droit d'usufruit ; — droit d'usage ; — servitudes ; — sources ; eaux courantes ; bornage ; enclave.

Différentes manières dont on acquiert la propriété.

Contrats ; principe de la liberté de conventions ; — quasi-contrats ; délits et quasi-délits ;

Obligations : espèces ; effets ; extinction ; preuves : actes authentiques et sous-seing privé ; présomptions ; chose jugée.

Règles relatives à certains contrats : vente ; transport de créance ; louage de choses ; d'ouvrage ; mandat ; transaction ;

Cautionnement ; nantissement ; privilèges et hypothèques ;

Prescription acquisitive ; libératoire.

Droit commercial : sa distinction du droit civil ; — actes de commerce ; — commerçants ;

Sociétés : généralités sur le contrat de société , — sociétés civiles particulières ; sociétés civiles à forme commerciale ; — so-

ciétés commerciales : en nom collectif ; en commandite ; anonyme en participation ; — sociétés par actions : en commandite ; anonymes ; — sociétés à capital variable.

15e 16e ET 17e LEÇONS.

Matières administratives. — *Travaux publics :* déclaration d'utilité publique ; — expropriation pour cause d'utilité publique ; — exécution des travaux publics : régie ; entreprise ou marché ; concession ; — dommages occasionnés par les travaux publics ; extraction de matériaux ; — occupation temporaire ; — travaux mixtes.

Contributions directes et taxes assimilées : mode d'imposition : impôt foncier ; personnel et mobilier ; des portes et fenêtres ; des patentes ; — recouvrement ; privilèges du Trésor ; — réclamations gracieuses ; — réclamations contentieuses : compétence ; procédure.

Algérie, colonies et **protectorats** : différences d'organisation, de législation et de réglementation avec la métropole.

DEUXIÈME PARTIE.

(Leçons 18 à 32.)

LÉGISLATION DES MINES.

18e ET 19e LEÇONS.

Généralités sur la législation minérale : objet ; caractères propres ; place spéciale dans le droit ; types divers suivant les temps et les lieux ;

Historique : droit romain ; droit français ancien ; droit intermédiaire ;

Aperçu historique et résumé général du droit français moderne.

20ᵉ ET 21ᵉ LEÇONS.

Classification légale des substances minérales.

Recherches de mines : par le propriétaire du sol ; — avec l'autorisation du gouvernement ; — en terrains communaux ou domaniaux ; — illicites ; — en terrains concédés ; — disposition des produits de recherche ; — sociétés de recherche.

Institution des concessions de mines : formalités de l'instruction ; demande et ses annexes ; enquête ; oppositions ; demandes en concurrence ; — concessibilité ; limites ; étendue ; noms des titulaires ; — acte de concession et cahier des charges ; — recours contre les actes de concession ; — interprétation des actes de concession.

Indemnité d'invention ; — indemnité d'explorateur évincé.

22ᵉ LEÇON.

Bornage des concessions de mines.

De la propriété des mines : caractères généraux ; — contrats de droit civil : vente ; amodiation ; usufruit ; privilèges et hypothèques ; — modifications de droit administratif : modifications dans le périmètre ; — renonciation ; — réunion ; — caractère juridique de l'exploitation des mines ;

Sociétés de mines.

23ᵉ ET 24ᵉ LEÇONS.

Relations des exploitants de mines avec les propriétaires de la surface. — *Redevances tréfoncières :* fixation par l'administration ; — types divers : fixe, proportionnelle, à forme variable ; — caractère juridique.

Servitudes de l'article 11 de la loi de 1810 ;

Caution de l'article 15 ;

Occupation de terrains : à l'intérieur du périmètre ; — à l'exté-

rieur; travaux faits après déclaration d'utilité publique; — chemins de fer miniers.

25e ET 26e LEÇONS.

Dommages produits à la surface par les travaux de mines.

Dommages occasionnés à la mine par les travaux de surface.

Relations entre exploitants de mines : investisons; — indemnités pour écoulement d'eaux; — pour autres dommages; — mise en communication de deux concessions voisines ou superposées; — loi du 27 avril 1838.

Redevances publiques : redevance fixe; — redevance proportionnelle : estimation du produit brut; des dépenses; — procédure annuelle : imposition; recouvrement; — réclamations; — abonnement.

27e LEÇON.

Surveillance de l'exploitation par l'administration. — *Généralités :* objet et nature de la surveillance; — autorités compétentes; procédure; — voies de recours; — sanctions des prescriptions administratives.

Chômage et abandon des exploitations;

Déchéance et retrait des concessions : motifs; procédure; effets.

Dispositions générales sur la police des exploitations. — *Prescriptions spéciales :* protection de la surface; — indemnités en faveur de l'exploitant; — protection du personnel; accidents; sauvetage.

Délégués à la sécurité des ouvriers mineurs.

28e LEÇON.

Anciennes concessions.

Mines de sel et sources d'eau salée.

Exploitations de minerais de fer : classification légale des minerais de fer; — relations entre exploitants de mine et de minière superposées; — police de l'exploitation des minières.

29e LEÇON.

Minières de terres pyriteuses et alumineuses.

Usines minéralurgiques.

Carrières : police de l'exploitation des carrières à ciel ouvert; des carrières souterraines; carrières abandonnées; — règles de droit privé sur les carrières et leur exploitation.

30e LEÇON.

Tourbières.

Juridiction et pénalités : en matière de mines, minières; carrières souterraines et carrières à ciel ouvert; — contraventions de grande voirie.

Organisation et fonctionnement de l'Administration des mines : conseil général des mines; inspecteurs généraux; ingénieurs en chef; ingénieurs ordinaires; — fonctions; — cadres; avancement; discipline; congés; retraites; — contrôleurs des mines.

Principes sur la responsabilité des fonctionnaires : pénale; civile.

31e ET 32e LEÇONS.

Législation des mines en Algérie; — dans les colonies : Guyane; Nouvelle-Calédonie; Indes françaises; Afrique continentale; Madagascar; — dans les protectorats : Tunisie, Annam et Tonkin.

Législation des mines à l'étranger. — Types principaux.

Droit anglais : Grande-Bretagne; — colonies anglaises.

Droit allemand ancien et moderne : loi prussienne de 1865; loi autrichienne de 1854; — loi saxonne de 1868.

Droit espagnol ancien et moderne : décret-bases de 1868; — application des droits espagnols ancien et moderne au Mexique et dans les États de l'Amérique du Sud.

Droit français : Belgique; — Grèce.

Droits divers : Italie; régimes divers; loi piémontaise de 1859; — grand-duché de Luxembourg; régime spécial des exploitations de minerais de fer; — États-Unis d'Amérique; législation fédérale sur les mines des *public lands.*

TROISIÈME PARTIE.

(Leçons 33 à 42.)

LÉGISLATIONS SPÉCIALES.

§ 1. — *Chemins de fer.* (Leçons 33 à 36).

33° LEÇON.

Distinctions légales entre les voies ferrées.

Chemins de fer d'intérêt général. — Régime de la concession; ses caractères généraux; — concours financier de l'État : subvention; garantie d'intérêt; — constitution des grands réseaux : conventions de 1857; 1859; 1863; 1868-1869; 1875; 1883.

Chemins de fer de l'État.

34°, 35° ET 36° LEÇONS.

Principes généraux des cahiers des charges : droits et obligations du concessionnaire; séquestre; déchéance; rachat.

Organisation de la surveillance de l'Administration : contrôle technique; commercial; financier.

Exploitation technique : établissement et entretien de la voie et

de ses dépendances; — matériel roulant; — mouvement; composition et circulation des trains; transport de matières spéciales; — police du public.

Exploitation commerciale : généralités; — tarifs de différente nature; — frais accessoires; — délais de transport; — obligations diverses du public et des compagnies; — factage et camionage; correspondance et réexpédition; — prescriptions relatives à certains services publics : guerre et marine; postes; — embranchements particuliers; chemins de fer d'embranchement ou de prolongement.

Police de la voirie.

Sanctions pénales : au regard du concessionnaire; du public.

Chemins de fer industriels; — chemins de fer d'intérêt local; — tramways.

§ 2. — *Matières diverses.*

37e, 38e ET 39e LEÇONS.

Eaux minérales. — Autorisation; — déclaration d'intérêt public; périmètre de protection; surveillance.

Établissements insalubres. — Classement; — autorisation : formalités; recours; — surveillance; — dommages au voisinage; — *industries spéciales :* gaz d'éclairage; — huiles et essences de pétrole; — *substances explosives :* poudres; nitroglycérine; dynamite; fabrication; transport; conservation; emploi.

Appareils à vapeur. — *Appareils établis à terre :* conditions d'établissement et de fonctionnement des chaudières fixes; locomotives; locomobiles; récipients; — surveillance administrative; associations de propriétaires d'appareils à vapeur; — accidents; — pénalités.

Automobiles.

Bateaux à vapeur : navigation intérieure; — maritime.

40e, 41e ET 42e LEÇONS.

Lois sociales. — Contrats de louages de services : **généralités.**

Travail des femmes et des enfants dans l'industrie, et spécialement dans les mines.

Hygiène et sécurité des travailleurs;

Durée du travail; marchandage;

Salaires : saisie-arrêt; — prud'hommes (organisation, attributions et fonctionnement).

Grèves et coalitions;

Conciliation et arbitrage;

Syndicats professionnels;

Responsabilité du patron : pénale; — civile;

Mesures et institutions de prévoyance : sociétés de secours mutuels; — accidents du travail; — retraites pour la vieillesse; — assurances en cas de décès; — institutions privées; — loi du 27 décembre 1895.

Caisses de secours et de retraites pour les ouvriers mineurs.

COURS D'ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

M. CHEYSSON,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES, PROFESSEUR.

1re LEÇON.

GÉNÉRALITÉS. — PRÉLIMINAIRES.

Premières notions des phénomènes économiques. — Besoins — Utilité. — Richesses. — Travail. — Produits et services. — Rôle et progrès de l'industrie.

Définition de l'économie politique; elle est une science et un art. — Son classement parmi les sciences. — Ses rapports avec la morale; — avec le droit; importance des études de législation comparée. — Lois économiques permanentes. — Règles contingentes. — Nécessité actuelle de l'économie politique pour les ingénieurs.

Méthode de déduction; ses dangers. — Méthode inductive, fondée sur l'observation, avec le secours de l'histoire et de la statistique.

Grandes divisions de l'économie politique.

I. — PRODUCTION DES RICHESSES.

2e, 3e, 4e ET 5e LEÇONS.

La production; son but; ses sources.

Les trois facteurs de la production : le travail, le capital, la nature.

Leurs rôles respectifs.

(*a*) LE TRAVAIL.

Généralités sur le travail. — Le travail et l'antiquité. — Personnel du travail. — Travail manuel, mécanique, intellectuel. — La science et l'industrie. — Importance des forces intellectuelles et morales comme facteurs économiques. — Erreur du travail pour le travail. — Droit au travail.

Division du travail. — Ses principaux avantages; sa généralisation; circonstances influant sur son développement; ses conséquences. — Coopération sociale et internationale. — Objections contre la division du travail. — Devoirs de l'industrie et de l'État.

Liberté du travail. — Esclavage. — Servage. — Leur disparition graduelle.

Corporations. — Leurs diverses phases et leur organisation; leur suppression en France, sauf des vestiges actuels. — Leurs avantages dans le passé et leur incompatibilité avec les données du milieu moderne. — Essais de leur restauration en Allemagne, en Autriche.

Les syndicats professionnels en France. — Les *Trade Unions* en Angleterre et aux États-Unis. — Leur rôle et leurs résultats.

Les syndicats industriels. — Leurs diverses variétés. — Syndicats de production, de vente : *Pools, Cartels, Trusts.*

Objections contre la liberté du travail et la concurrence. — Dangers et impuissance des remèdes. — Vertu du travail libre. — Les régimes de contrainte et la liberté du travail. — Devoirs de l'État, des patrons, des intéressés.

6e, 7e ET 8e LEÇONS.

(*b*) LE CAPITAL.

Définition du capital. — Capital de consommation et capital de production.

Capital fixe et circulant. — Importance de cette notion; rôles respectifs des deux capitaux; proportion à observer entre eux. — Problème de la transformation de l'outillage; méthode pour le résoudre. — Conséquences de l'augmentation du capital fixe. — Grande industrie. — Le capital fixe et l'État.

Formation du capital. — Importance et emploi de sa production annuelle. — Marché des capitaux. — Démocratisation des valeurs. — Évaluation de la richesse publique en France et dans les divers pays. — Propriétés de l'État. — Fonds commun. — Compensation à la perte des quatre droits primitifs.

L'épargne. — Ses diverses formes; circonstances influant sur sa formation. — Caisses d'épargne en France : histoire; situation actuelle, organisation; — caisses d'épargne postales, scolaires; — l'État et les fonds des caisses d'épargne; clause de sauvegarde.

Les machines. — Outils et machines; leur rôle dans l'humanité. — Transformations produites par les machines. — Évolution de l'industrie.

Objections et préjugés populaires contre le capital et les machines. — Violences contre les inventeurs et les inventions. — Action réelle des machines sur l'effectif des travailleurs; sur l'essor de la consommation. — Difficultés et souffrances de la transition. — Leur atténuation par le développement lui-même des machines et par diverses causes retardatrices.

Bienfaits et devoirs du capital. — Situations respectivement faites aux patrons et aux ouvriers par l'accroissement du capital et des machines. — Paradoxe économique. — Harmonie entre le capital et le travail.

Organisation industrielle. — Classification des industries. — Influence des lieux sur la production. — Recensement professionnel.

9e ET 10e LEÇONS.

(c) LA NATURE.

La terre. — Particularités qui la distinguent des autres capitaux.

Appropriation du sol. — Communautés agraires. — Communautés de famille. *Zadruga* slave. — Dédoublement de la nue propriété et de l'usufruit. — Propriété individuelle.

Légitimité de la propriété. — Attaques contre la propriété. — Divers systèmes pour la défendre : le contrat social, la loi, la première occupation, le juste, l'utile. — Supériorité de la propriété absolue, perpétuelle, héréditaire. — Systèmes collectivistes.

Propriété rurale. — Importance de l'agriculture. — Caractères économiques des divers systèmes de culture : culture intensive, extensive.

Division de la propriété : en France, sous l'ancien régime; aujourd'hui; — à l'étranger.

Mobilisation du sol. — Système de Law. — Loi de messidor an III. — Assignats. — Act *Torrens*, — *Homestead exemption* en Amérique; — *Hoferolle* en Allemagne et en Autriche. — Influence des lois de succession. — Abornements généraux. — Lois allemandes sur le remembrement obligatoire. — *Rentengüter.* — Réfection du cadastre.

II. — LA RÉPARTITION.

11e ET 12e LEÇONS.

Généralités. — Rémunération des divers facteurs de la production ; sa légitimité et sa nécessité. — Régimes de répartition : autorité; coutume; liberté. — Offre et demande.

(*a*) RENTE.

Théorie de Ricardo. — Ses conséquences; sa réfutation. — Monopoles naturels.

Formes d'exploitation du sol. — Leur histoire; leurs caractères. — Faire-valoir patronal et familial; — Métayage; — Fermage. — Crise agricole.

Les Syndicats agricoles. — Leurs progrès. — Leur organisation. — Leur rôle économique et social.

Exploitation du sous-sol. — Lois économiques régissant la richesse minière.

(*b*) INTÉRÊT.

L'intérêt de l'argent. — Sa condamnation dans le passé. — Sa fécondité et sa légitimité. — Baisse progressive du taux de l'intérêt; ses causes et ses conséquences.

Réglementation de l'intérêt en France et à l'étranger. — Tendance générale à la liberté de l'intérêt. — Réaction contre ses abus.

13ᵉ, 14ᵉ, 15ᵉ ET 16ᵉ LEÇONS.

(*c*) SALAIRE.

Nature du salaire. — Sa généralité et ses formes multiples. — Ses avantages pour le patron et l'ouvrier.

Le salaire envisagé au point de vue du patron: élément du prix de revient. — Loi de Brassey. — Débat pour la fixation des salaires. — *Truck-system;* lois destinées à le réprimer dans les divers pays. — Intervention des machines. — Combinaisons solidarisant l'intérêt des patrons et des ouvriers.

Le salaire envisagé au point de vue de l'ouvrier : principal chapitre du budget de la famille ouvrière. — Le juste salaire, le

salaire familial. — Salaire nominal et salaire réel. — Salaire en nature; ses caractères; sa généralité dans le passé; son rôle actuel. — Les subventions; leur importance sur le bien-être de la famille et sur les rapports dans l'atelier. — Industries domestiques. — Revenus des propriétés. — Monographies de famille. — Périodicité de la paye.

Objections contre le salariat. — Attaques contre le marchandage, contre l'inégalité des salaires; — *Sweating system;* — salaire naturel; loi d'airain; — fonds des salaires; — théorie de Malthus. — Réfutation de ces théories. — Le salaire dépend surtout de la productivité du travail; conséquences au point de vue économique et social. — Influence de la richesse du pays, du coût des vivres, de l'état des mœurs, de la loi, de la nature de la profession.

Statistique des salaires; ses difficultés. — Bourses du travail. — Hausse générale des salaires plus rapide que celle du coût des vivres. — Amélioration de la situation matérielle du plus grand nombre.

Difficultés de la fixation des salaires. — Les grèves, leurs causes, leurs conséquences.

Remèdes proposés.

La réglementation des salaires. — Salaire minimum. — Les conditions du travail. — Réglementation internationale du travail.

L'échelle mobile des salaires.

La participation aux bénéfices. — Son ancienneté. — Ses diverses modalités. — Son champ d'application. — Ses résultats.

L'arbitrage et la conciliation en France et à l'étranger.

L'association coopérative de production. — Son histoire. — Son rôle. — Ses conditions de succès. — La mine aux mineurs.

Permanence et universalité du salaire.

(*d*) PROFIT.

Produit brut. — Frais de production. — Produit net. — Inventaire. — Ses difficultés.

Circonstances influant sur le taux du profit. — Variations du profit avec l'intensité de la production suivant la nature des industries. — Méthode de statistique géométrique pour résoudre divers problèmes commerciaux influant sur le profit.

Rôle et utilité économiques du profit.

17e ET 18e LEÇONS.

RAPPORTS ENTRE LE CAPITAL ET LE TRAVAIL.

Importance économique de l'harmonie des rapports entre le capital et le travail. — Signes caractéristiques de cette harmonie.

Évolution et caractère actuel des institutions patronales. — Rôle de la coopération. — Participation de l'ouvrier aux institutions qui le concernent.

Économats et sociétés coopératives de consommation.

Question du logement. — Son importance. — Maisonnette et maison collective. — Acquisition ou location. — Sociétés coopératives. — *Building societies*. — Leurs progrès. — Leur avenir.

Assurances en France et à l'étranger. — Sociétés de secours mutuels. — Caisses de retraites ouvrières. — Leur imprévoyance et leurs déficits. — Livret individuel. — Assurance contre les accidents. — Assurance contre le chômage [1].

Assistance. — Ses principales formes. — Ses conditions d'efficacité.

Enquêtes et statistiques sur ces diverses institutions.

---

[1] Le côté législatif des diverses assurances fait partie du cours de législation.

III. — LA CIRCULATION.

19e, 20e, 21e, 22e ET 23e LEÇONS.

Échange. — Son mécanisme et ses caractères. — Ses services.

La valeur. — Ses différentes définitions. — Circonstances qui la déterminent. — Offre et demande. — Frais de production. — Monopoles.

Distinction entre la valeur et la richesse. — Étalon de la valeur. — Systèmes pour mesurer ou pour conjurer les variations de l'étalon.

(a) LA MONNAIE.

La monnaie. — Titre. — Poids. — Cours légal. — La monnaie est une marchandise. — Altération des monnaies. — Monnaies réelles et monnaies de compte. — Monnaie de billon. — Variation du pouvoir d'achat de la monnaie; ses conséquences pour les débiteurs et les créanciers.

Les divers systèmes monétaires. — Nécessité de plusieurs métaux pour la monnaie. — Loi de Gresham. — Rapport de la valeur de l'or et de l'argent. — Ses variations successives. — Extraction et stock des deux métaux. — Causes de la baisse actuelle de l'argent; ses effets.

Union latine; conventions de 1865, de 1878 et de 1885; leurs lacunes. — Encaisse de la Banque de France. — Variation de sa composition. — Politique monétaire des principaux états.

Monométallisme et bimétallisme. — Leurs avantages et leurs inconvénients. — Leurs rapports avec la question agraire. — Congrès monétaires. — Situation actuelle de la question.

(b) LE CRÉDIT ET LES BANQUES.

Le crédit. — Sa nature. — Son influence. — Ses divers modes.

Les effets de commerce. — Billets simples; au porteur; à vue; à ordre; lettres de change; mandats; chèques. — Le change; ses fluctuations; ses causes et ses résultats.

Les banques. — Leur rôle et leur mécanisme. — Les banques de dépôt, de virement, d'escompte, d'émission. — Réserve métallique. — Limite de l'émission. — Billets de banque. — Banque de France; son organisation; renouvellement de son privilège. — Les banques à l'étranger.

Banques populaires. — Type *Schultze-Delitsch* et *Raffeisen.* — Organisation du crédit rural en France et à l'étranger.

Les crises commerciales. — Leur histoire, leurs causes et leurs caractères. — Leur périodicité. — Taux des prix, de l'escompte, du change. — Mouvement de l'encaisse, de la circulation et du portefeuille des grandes banques. — Prévision des crises; son intérêt.

Le papier-monnaie. — Ses effets économiques. — Cours forcé. — Assignats. — Reprise des payements en espèces.

Le crédit public. — Emprunts perpétuels, amortissables. — Annuités. — Conversions.

(*a*) LE COMMERCE.

Commerce. — Ses transformations et son rôle. — Gros et détail. — Bazars et boutiques; grands magasins. — Prix fixe ou marchandage. — Concurrence ou réglementation. — Maximum. — Taxe de la boulangerie.

Commerce intérieur. — Douanes intérieures. — Liberté de circulation. — Octrois.

Commerce extérieur. — Histoire du régime douanier en France et à l'étranger. — Droits à l'exportation. — Droits à l'importation : fiscaux, protecteurs. — Balance du commerce; système mer-

cantile; système protectionniste. — Correctifs de ces systèmes : échelle mobile; drawbacks; entrepôts; admissions temporaires. — Traités de commerce; tarifs généraux. — Droits spécifiques, *ad valorem*. — Régime douanier actuel; ses tendances générales.

Colonies. — Leur rôle économique. — Colonies de commerce, de peuplement, d'exploitation.

(*b*) LES TRANSPORTS.

Progrès des transports. — Données statistiques. — Principaux effets de ces progrès : sur le déplacement des hommes et des choses (masse, économie, vitesse); — sur les débouchés et les approvisionnements; sur les prix; — sur la liberté commerciale.

Régime de l'exploitation des voies de communication en France et à l'étranger. — Exploitation par l'État; par des compagnies concessionnaires ou par des compagnies libres. — Appréciation des divers systèmes.

Des tarifs. — Leur influence économique; leur histoire; leurs principes; leurs diverses formules. — Effets des abaissements de tarifs; réformes postales. — Régime des voies navigables; développement de leur trafic. — Concurrence des voies ferrées et navigables; droits de navigation. — Taxes locales des ports en Angleterre et en France.

IV. — LA CONSOMMATION.

24ᵉ LEÇON.

L'épargne et le luxe. — Leur rôle économique. — Influence des prix sur la consommation. — Loi de Tooke.

La consommation et la population. — Émigration et colonisation. — Paupérisme. — Charité légale; charité privée.

La consommation et l'impôt. — Impôts directs, indirects; sur le

capital, sur le revenu; proportionnels, progressifs. — Revenus industriels de l'État. — Incidence des impôts; leurs effets économiques. — Le budget; son mécanisme. — La dette publique. — Amortissement.

Le rôle de l'État. — Ses attributions légitimes; ses limites. — Mesure de l'utilité des travaux publics. — Bénéfices directs et indirects.

V. — ANNEXES.

25e LEÇON.

STATISTIQUE.

Objet de la statistique. — Son utilité pour les ingénieurs.

Organisation de la statistique en France et à l'étranger. — Bureaux officiels de statistique; leurs principales publications. — Conseils supérieurs de statistique. — Congrès de statistique. — Institut international de statistique.

Méthodes de statistique. — Réunion des données élémentaires; revision; coordination; élaboration. — Coefficients; moyennes. — Tableaux numériques. — Statistique graphique : ses avantages; ses applications; ses ressources (diagrammes, cartogrammes, stéréogrammes). — Statistique géométrique.

Données statistiques. — Notions de démographie comparée. — Statistique des transports. — Statistique de l'industrie minérale : production; consommation; importations et exportations; accidents; prix.

26e ET 27e LEÇONS.

COMPTABILITÉ.

Comptabilité publique. — Budget. — Crédits. — Exercice. — Budget du Ministère des travaux publics. — Liquidation des dépenses. — Ordonnancement de fonds. — Mandats de payement. — Exercices clos, — périmés. — Comptabilité des ingénieurs.

Comptabilité privée [1]. — Comptabilité économique : son mécanisme; ses services.

Comptabilité financière. — Livres légaux; usuels. — Tenue en partie simple; en partie double. — Comptes généraux. — Journal. — Grand-livre. — Livres auxiliaires. — Balances. — Bilan. — Inventaire. — Spécimen de la comptabilité d'une grande exploitation (Mines, chemins de fer, etc.).

[1] A l'enseignement oral sont annexés des exercices d'applications pratiques.

COURS PRÉPARATOIRES.

COURS D'ANALYSE ET DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE.

M. A. PELLETAN,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, PROFESSEUR.

ANALYSE.

CALCUL DIFFÉRENTIEL.

1re LEÇON.

Infiniment petits; leurs divers ordres; théorème sur la limite d'un rapport ou d'une somme. Série de Taylor.

2e LEÇON.

Interpolation. Formule de Lagrange. Premières notions sur le calcul des différences finies.

3e LEÇON.

Définition de la dérivée et de la différentielle. Différentiation des fonctions algébriques, circulaires, exponentielle et logarithmique. Différentiation d'une équation.

4e LEÇON.

Enveloppes et enveloppées. Applications. Différentielle d'un arc de courbe. Variation de la longueur d'une droite. Développées et développantes.

5e LEÇON.

Fonctions d'un nombre quelconque de variables: leurs dérivées

partielles; leurs différentielles; cas des fonctions implicites. Fonctions homogènes. Tangentes aux courbes de l'espace; indicatrice sphérique.

6ᵉ LEÇON.

Plans tangents aux surfaces; applications. Enveloppes et enveloppées. Surfaces réglées; variation du plan tangent le long d'une génératrice. Surfaces développables.

7ᵉ ET 8ᵉ LEÇONS.

Différentielles d'ordre supérieur; cas d'une seule variable; différentielle d'un produit. Série de Taylor; expression du reste; développement en séries de fonctions circulaires et exponentielles et de leurs inverses. Formule d'Euler.

9ᵉ LEÇON.

Formules illusoires. Règles de Lhopital. Différentielles d'ordre supérieur des fonctions de plusieurs variables. Extension à ces fonctions de la série de Taylor. Changement de variables. Maxima et minima.

10ᵉ LEÇON.

Courbure d'une ligne plane. Son expression analytique. Cercle osculateur. Contact de divers ordres; points d'inflexion et sommets. Le centre de courbure est un point de la développée.

11ᵉ LEÇON.

Recherche de la courbure des coniques, de la cycloïde, de la spirale d'Archimède, logarithmique. Points singuliers.

12ᵉ LEÇON.

Courbes dans l'espace. Plan osculateur; ses propriétés; son équation. Première et seconde courbure; leur détermination par l'indicatrice sphérique. Normale principale. Sphère osculatrice. Lieu des tangentes à une courbe.

13e ET 14e LEÇONS.

Courbure des surfaces; indicatrice; directions principales; directions conjuguées. Sections normales et obliques; lois de leurs courbures. Lignes de courbure; asymptotiques; géodésiques.

CALCUL INTÉGRAL.

15e LEÇON.

But du calcul intégral. Intégrales définies et indéfinies.

16e LEÇON.

Intégrales immédiates; intégration par décomposition, par substitution, par parties; par les séries, par l'emploi des imaginaires; exemples les plus importants.

17e LEÇON.

Intégration des fonctions rationnelles. Cas des racines réelles, simples ou multiples; cas des racines imaginaires. Différentielles qui contiennent des radicaux du second degré.

18e LEÇON.

Intégration des fonctions circulaires et exponentielles.

19e ET 20e LEÇONS.

Évaluation des aires planes. Surface de segments elliptiques, hyperboliques et paraboliques. Aire de la cycloïde; de la spirale logarithmique. Longueur d'un arc de courbe. Rectification de la cycloïde.

21e LEÇON.

Calcul approché d'une intégrale définie. Méthode de Côtes, de Simpson. Exemples de calculs.

22e LEÇON.

Différentiation et intégration sous le signe $\int$. Application au calcul de quelques intégrales définies. Intégrale de Laplace.

23e LEÇON.

Condition d'intégralité des différentielles de la forme $Mdx + Ndy$ ou $Mdx + Ndy + Pdz$.

24e LEÇON.

Des intégrales multiples. Cas de deux variables; interprétation géométrique; intégrales triples. Calcul d'un volume. Application à l'ellipsoïde; à une portion de sphère.

25e LEÇON.

Équations différentielles de la forme $Mdx + Ndy = 0$; facteurs d'intégrabilité; leur détermination dans quelques cas. Solutions singulières.

26e LEÇON.

Équations linéaires. Cas d'abaissement de l'ordre de ces équations. Équations linéaires à coefficients constants.

27e LEÇON.

Équations simultanées. Premières notions sur l'intégration des équations aux dérivées partielles. Équations linéaires du premier ordre. Équation des cordes vibrantes.

GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE.

28e LEÇON.

Divers modes de représentation des corps. Perspective conique. Projections orthogonales. Perspectives cavalière, axonométrique et isométrique. Projections cotées. Généralités. Ombres et points brillants. Courbes d'ombre propre et d'ombre portée. Perspective conique : tableau et géométral; représentation de la droite et du plan; points et lignes de fuite; horizon. Point accidentel de distance. Points principaux de fuite et de distance.

29e LEÇON.

Projections cotées. Représentation d'un point; cotes rondes.

Représentation d'une droite; pente et intervalle. Représentation d'un plan; son échelle de pente. Problèmes relatifs à la ligne droite et au plan. Représentation des surfaces topographiques. Lignes de niveau et de plus grande pente : sommets, cols, lignes de séparation des eaux, thalwegs.

30e LEÇON.

Étude des courbes et surfaces usuelles. Hélice, ses projections orthogonales. Surfaces réglées. Hyperboloïdes et paraboloïdes de raccordement. Paraboloïde des normales. Construction du plan tangent à diverses surfaces réglées : au paraboloïde. Surfaces hélicoïdales. Hélicoïdes réglés. Surface de vis à filet triangulaire. Vis à filet carré.

31e LEÇON.

Principes généraux et types principaux des assemblages des pièces de bois.

32e LEÇON.

Généralités : coupe des pierres. Tracé des épures. Murs. Voûtes et voussoirs. Porte biaise en talus. Arches biaises. Appareil orthogonal. Appareil hélicoïdal. Voûtes d'arêtes et en arc de cloître.

COURS DE MÉCANIQUE.

M. MOUTARD,
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES, PROFESSEUR.

INTRODUCTION.

VECTEURS ET MOMENTS.

1re LEÇON.

Origine, grandeur, direction d'un vecteur. — Composition d'un faisceau de vecteurs. — Addition géométrique. — Décomposition; parallélogramme, parallélipipède. — Théorème des projections. — Produit géométrique. — Multiplication de deux sommes géométriques.

Moment d'un vecteur en un point; représentation du moment par un autre vecteur; fixation du sens. — Moment par rapport à un axe.

Composition des moments d'un faisceau de vecteurs. — Expressions des moments d'un vecteur par rapport à trois axes rectangulaires, au moyen des coordonnées de son origine et de ses projections. — Relation entre les projections sur trois axes rectangulaires d'un vecteur et de son moment en un point.

2e LEÇON.

Des systèmes de vecteurs en général. — Systèmes équivalents. — Réduction à deux vecteurs. — Vecteur résultant de translation. — Moment total en un point. Influence de la situation du

centre des moments. — Invariants, axe central, équations de l'axe central. Résultant unique. — Les six équations nécessaires et suffisantes pour l'équivalence; concentration dans un seul énoncé.

3ᵉ LEÇON.

Étude des cas particuliers. — Vecteurs situés dans un même plan. — Vecteurs parallèles. — Centre d'un système de vecteurs parallèles de direction variable, à origines fixes.

Étude directe de la composition des vecteurs parallèles.

Théorie des couples, déduite de la théorie générale de l'équivalence. — Représentation d'un couple par un vecteur; fixation du sens. — Étude directe des couples.

Réduction d'un système de vecteurs à un vecteur résultant de translation et à un couple. Influence du choix de l'origine du vecteur résultant.

Identité essentielle de la théorie des couples et de celle des moments.

4ᵉ LEÇON.

Corollaires géométriques de la théorie des vecteurs.

Trigonométrie sphérique. — Formules : fondamentale, des sinus, des cotangentes, corrélatives. — Analogies de Neper. — Formules de Delambre. — Théorème de Legendre.

Résolution des triangles.

CENTRES DE MASSE ET MOMENTS D'INERTIE.

5ᵉ LEÇON.

Notion de la masse considérée comme un coefficient affecté à un point. — Centre de masse, définition déduite de celle du centre d'un système de vecteurs parallèles. — Propriétés géométriques; théorème des moments, moment d'inertie polaire minimum.

Composition d'un système de vecteurs concourants proportionnels aux masses de leurs origines et aux distances de ces origines au point de concours. — Corollaires géométriques.

6ᵉ LEÇON.

Réduction d'un système de vecteurs perpendiculaires à un axe fixe, ou d'un système de vecteurs perpendiculaires aux plans qui passent par leurs origines et un axe fixe, lorsque les vecteurs sont proportionnels aux masses des origines, et aux distances de ces origines à l'axe.

Moment d'inertie d'un système de points-masses par rapport à un axe. — Rayon de giration. — Translation de l'axe. — Ellipsoïde d'inertie. — Axes principaux d'inertie en un point. — Ellipsoïde central.

7ᵉ LEÇON.

Extension des théories qui concernent les points-masses aux lignes, aux surfaces et aux volumes, considérés comme des systèmes de points-masses infiniment rapprochés. — Corps homogènes et hétérogènes. — Masse spécifique. — Calculs de la masse totale, des coordonnées du centre de masse, des moments d'inertie, par des intégrales simples, doubles ou triples.

Construction géométrique des centres de masse dans les cas simples. — Périmètre et surface du triangle. — Surface et volume du tétraèdre. — Trapèze. — Pyramide. — Tronc de pyramide.

Théorèmes de Guldin. — Volume du cylindre tronqué.

Calcul du moment d'inertie d'un parallélipipède rectangle, d'un cylindre droit, d'une sphère, d'un corps homogène de révolution.

MÉCANIQUE

8ᵉ LEÇON.

Division du cours. — Caractères différents des branches de la mécanique. — Du temps ou de la durée.

CINÉMATIQUE PURE.

Mouvement d'un point sur sa trajectoire. — Représentations : analytique, graphique, par une table. Appareils enregistreurs.

Mouvement uniforme. — Vitesse. — Symbole $v = lt^{-1}$.

Mouvement varié.— Vitesse moyenne, vitesse à un instant donné. — Exemples divers. — Mouvement vibratoire simple. — Lois du mouvement uniformément varié.

Détermination d'un mouvement lorsqu'on connaît une relation entre le temps, le chemin et la vitesse. — Conditions initiales. — Exemples.

9° LEÇON.

Accélération tangentielle dans le mouvement uniformément varié, dans le mouvement quelconque. — Symbole $j = lt^{-2}$. — Détermination d'un mouvement lorsqu'on connaît une relation entre le temps, le chemin, la vitesse et l'accélération tangentielle. — Intégration dans les cas simples. — Conditions initiales.

Exemples relatifs à la chute des graves dans les milieux dont la résistance dépend de la vitesse, et aux mouvements rectilignes dont l'accélération dépend de la distance à un point fixe.

Remarque sur la double homogénéité des formules de la cinématique.

10° LEÇON.

Accélération totale dans le mouvement curviligne. — Déviation. — Plan osculateur. — Normale principale, courbure. — Décomposition en accélération tangentielle et en accélération centripète.

Projection d'un mouvement sur un plan ou sur un axe. — Vitesse et accélération totale du mouvement projeté. — Application à la projection, sur un axe ou sur un plan, du mouvement circulaire uniforme et du mouvement uniforme sur une hélice.

11° LEÇON.

Emploi des coordonnées rectangulaires pour l'étude du mouvement d'un point dans l'espace.

Équations du problème général de la cinématique du point. — Mouvements paraboliques, elliptiques, vibratoires.

Conséquences géométriques relatives au plan osculateur, à la normale principale et à la courbure, déduites de la comparaison des équations générales avec l'étude directe de l'accélération totale dans le mouvement curviligne.

12° LEÇON.

Réduction des trois équations générales à six équations différentielles du premier ordre. — Constantes arbitraires. — Intégrales. — Conditions initiales.

Applications : Mouvement d'un point dont l'accélération a une direction constante. — Mouvement parabolique. — Courbe balistique.

Mouvement d'un point dont l'accélération est dirigée suivant la droite qui joint le mobile à un pôle fixe. — Loi des aires.

13° LEÇON.

Emploi des coordonnées polaires planes. — Vitesses : angulaire, d'élongation, de circulation, aréolaire.

Décomposition de l'accélération suivant le rayon vecteur et la perpendiculaire à ce rayon. — Expression en fonction du rayon vecteur, de l' célération d'un mouvement plan dont la vitesse aréolaire est constante, et dont la trajectoire est connue. — Problème inverse. — Hodographe.

Interprétation cinématique des lois de Kepler.

14° LEÇON.

Mouvement d'une figure plane dans son plan. — Translation.

— Rotation autour d'un point. — Centre instantané de rotation. — Vitesse instantanée de rotation. — Roulement d'une courbe mobile sur une courbe fixe. — Glissement. — Mouvement mixte.

15° LEÇON.

Applications géométriques : construction des tangentes aux conchoïdes, cycloïdes, etc ; du point de contact d'une enveloppée et de son enveloppe. — Mouvement d'une figure plane dont deux points décrivent des droites fixes, ou dont deux droites pivotent autour de points fixes.

16° LEÇON.

Mouvement d'un solide dans l'espace. — Translation. — Rotation autour d'un axe. — Pivotement. — Mouvement hélicoïdal. — Axes instantanés de rotation. — Axe spontané. — Vitesses instantanées de rotation et de glissement. — Roulement, glissement, mouvement mixte.

Représentation du mouvement d'un solide par six équations. — Formules d'Euler.

17° LEÇON.

Mouvements relatifs. — Vitesse d'entraînement, accélération d'entraînement; accélération complémentaire; accélération centrifuge composée. — Théorème de Coriolis.

Mouvements simultanés d'un point; influence de l'ordre dans lequel on les considère.

Méthode de Roberval pour le tracé des tangentes à certaines courbes.

18° LEÇON.

Composition des mouvements élémentaires d'un solide, bornée aux vitesses.

Représentation d'une rotation par un vecteur, fixation du sens. — La vitesse d'un point d'un corps tournant est le moment en ce

point du vecteur qui représente la rotation. — Composition de deux rotations parallèles. — Couple de rotations. — Rotations concourantes. — Décomposition d'un pivotement en trois rotations autour d'axes rectangulaires. — Composantes de la vitesse d'un point d'un solide pivotant.

Composition des mouvements élémentaires généraux ramenée à la recherche de l'axe central d'un système de vecteurs.

CINÉMATIQUE APPLIQUÉE.

19e LEÇON.

Premières notions sur les machines. — Organes de transmission. — Classifications de Monge et de Willis. — Classification de M. Haton de la Goupillière.

Principes sur le guidage et la transmission du mouvement par contact.

Galets cylindriques et coniques. — Problèmes des courbes roulantes. — Spirale de Bernoulli. — Loxodromie. — Ellipse. — Profils dérivés. — Solution d'Euler.

20e LEÇON.

Glissières cylindriques, de révolution, hélicoïdales, à double effet. — Glissières-guide ou glissières-transmission. — Palier. — Crapaudine. — Articulation. — Excentriqne à collier. — Vis. — Vis différentielle de Prony.

Excentriques à rainures. — Repos, transmission uniforme ou sinusoïdale. — Calcul et tracé.

21e LEÇON.

Excentriques à cadre perpendiculaire. — Excentriques à ondes. — Came en cœur. — Excentrique de Morin.

Excentriques à cadre circonscrit, circulaire, triangulaire. — Emploi des podaires.

22e LEÇON.

Théorie des engrenages. — Engrenages cylindriques. — Courbes conjuguées, méthode des enveloppes, méthode des roulettes. — Glissement élémentaire.

23e LEÇON.

Engrenages à lanterne, à flancs rectilignes, à développantes de cercle, à épicycloïdes.

Engrenages intérieurs. — Crémaillères.

Engrenages coniques. — Engrenage de White. — Vis sans fin.

24e LEÇON.

Trains d'engrenage. — Trains : ordinaires, continus, discontinus, intermittents, alternatifs.

Trains épicycloïdaux. — Formule de Willis. — Compteurs décimaux. — Paradoxe de Ferguson.

25e LEÇON.

Bielles. — Théorie géométrique. — Tiges, balanciers et manivelles et leurs six combinaisons. — Parallélogrammes articulés de Watt et de Paucellier.

Joint universel. — Joint d'Oldham.

26e LEÇON.

Cordes, courroies et chaînes. — Poulies et moufles. — Courroies sans fin.

Embrayages par manchons, courroies, arbres creux, arbres à came. — Déclics. — Encliquetages.

Indicateurs cinématiques. — Cylindre et disque tournant de Morin.

DYNAMIQUE DU POINT.

27ᵉ LEÇON.

Réflexions sur les principes expérimentaux de la mécanique. — Du point matériel et de la force.

Principe de l'inertie du point matériel. — Direction d'une force. — Forces égales; force constante en grandeur et en direction.

Principe de Galilée. — Une force constante en grandeur et en direction produit un mouvement dont l'accélération est constante en grandeur et en direction. — Mouvement des projectiles dans le vide. — Portée. — Courbe de sûreté. — Hausses de tir.

28ᵉ LEÇON.

Principe de l'indépendance des effets simultanés des forces. — Définition mécanique de la résultante de forces appliquées à un point matériel, de la somme de plusieurs forces. — Mesure théorique des forces. — Représentation des forces par des vecteurs.

Composition des forces appliquées à un point matériel ramenée à la composition d'un faisceau de vecteurs. — Parallélogramme des forces.

Équations d'équilibre d'un point matériel.

29ᵉ LEÇON.

Proportionnalité des forces aux accélérations des mouvements qu'elles impriment à un même point matériel. — Masse d'un point matériel. — Relation entre la force, la masse et l'accélération.

Remarque sur la triple homogénéité des formules de la dynamique. — Symboles : $m = l^{-1} t^2 F$, $F = l t^{-2} m$. — Similitude.

Principe expérimental de l'égalité de la réaction à l'action. — Force d'inertie. — Composantes tangentielle et centrifuge. — Définition du poids d'un corps par la réaction d'un obstacle. — Comparaison des forces aux poids. — Indicateurs dynamiques pour la

mesure pratique des forces ou des masses. — Ressorts. — Balances.

Mesures absolues. — Gramme-masse et gramme-poids. — Poids théorique et poids métrique. — Système CGS. — Dyne.

30e LEÇON.

Équations du mouvement d'un point matériel soumis à l'action de forces quelconques.

Interprétation dynamique des résultats de la cinématique pure. Forces totale, tangentielle, centripète. — Troisième loi de Kepler. — Loi de la gravitation.

Théorèmes relatifs à la projection et au moment de la quantité de mouvement. — Impulsion d'une force.

31e LEÇON.

Des forces au point de vue industriel. — Travail d'une force constante en grandeur et en direction. — Kilogrammètre, Erg, Joule. — Travail élémentaire et travail total d'une force variable. — Effort moyen. — Travail de la résultante de plusieurs forces. — Travail d'une force pour le déplacement résultant de plusieurs autres. Démonstrations fondées sur la multiplication géométrique.

Dynamomètres à ressort. — Dynamomètre de traction. — Manivelle dynamométrique. — Indicateurs dynamiques.

32e LEÇON.

Théorème de la force vive. — Cas où le travail élémentaire est la différentielle d'une fonction de la position du point. — Fonction des forces. — Surfaces de niveau. — Application aux forces émanées de centres fixes et fonctions de la distance.

Stabilité de l'équilibre d'un point matériel libre.

33e LEÇON.

Mouvement d'un point matériel assujetti à rester sur une sur-

face fixe. — Forces directement appliquées. — Action normale, unilatérale ou bilatérale, de la surface.

Équations générales. — Théorème de la force vive. — Grandeur et sens de l'action normale de la surface. — Détermination des points où le mobile quitte une surface à résistance unilatérale. — Exemples divers.

Cas où les forces directement appliquées se font équilibre. — Cas où la force directement appliquée est le poids. — Plan incliné. — Mouvement d'un point pesant dans la concavité ou sur la convexité d'un cylindre horizontal.

Pendule sphérique. — Pendule conique.

34e LEÇON.

Mouvement d'un point matériel assujetti à rester sur une courbe fixe. — Action normale de la courbe. — Équations générales. — Théorème de la force vive. — Grandeur et direction de l'action de la courbe.

Mouvement d'un point matériel pesant sur une hélice droite ou inclinée. — Pendule cycloïdal, tautochronisme. — Pendule simple, durée de l'oscillation, degré d'approximation de la formule.

Équilibre d'un point assujetti à rester sur une courbe ou sur une surface. — Cas où il existe une fonction des forces. — Détermination des positions d'équilibre par les surfaces de niveau. — Stabilité de l'équilibre.

35e LEÇON.

Des forces dans le mouvement relatif. — Théorème de Coriolis. — Forces apparentes, force d'inertie d'entraînement, force centrifuge composée. — Expériences simples qui rendent sensibles les forces apparentes. — Équilibre relatif et mouvement sur une surface entraînée. — Inclinaison transversale des voies ferrées dans les courbes.

Influence de la rotation de la terre sur les phénomènes observés à sa surface. — Définition du poids et de la verticale. — Indications relatives à l'écart vers l'est dans la chute des graves et au pendule de Foucault. Iufluence du mouvement de translation de la terre.

Application de la théorie des mouvements relatifs à l'étude du système planétaire. — Conséquences relatives à la loi de gravitation.

STATIQUE.

36e LEÇON.

Hypothèses sur la constitution physique des corps naturels. — Forces extérieures et intérieures. — Solides, fluides, liquides, gaz. — Travail des forces intérieures.

Équilibre des solides invariables libres. — Postulatum relatif à l'équilibre de deux forces égales dirigées en sens contraire suivant la même droite; transport du point d'application d'une force. — Théorie de l'équivalence des systèmes de forces appliquées à un solide invariable, ramenée à la théorie des vecteurs.

Interprétation mécanique de la théorie des vecteurs; les six équations de l'équilibre, concentration dans un seul énoncé. —

Forces parallèles et couples. — Actions de la pesanteur. — Théorie des centres de gravité ramenée à la théorie géométrique des centres de masse.

37e LEÇON.

Équilibre des solides invariables gênés. — Point fixe. — Axe fixe. — Solides appuyés contre une surface fixe. — Pressions sur les appuis.

Équilibre des systèmes articulés. — Articulations sphériques, cylindriques. — Systèmes à liaisons complètes. — Méthode fondée sur l'égalité des actions mutuelles des pièces du système.

Applications au coin, au genou, à la grue, aux ponts-levis, aux balances de Roberval et de Quintenz, aux ponts suspendus.

38ᵉ LEÇON.

Équilibre des solides liés par un fil flexible et inextensible. — Polygone funiculaire. — Polygone de Varignon. — Éléments de statique graphique.

Équilibre d'un fil soumis à l'action de forces quelconques. — Fil tendu sur une surface. — Chaînette. — Courbe des ponts suspendus.

Équilibre des solides naturels et des systèmes matériels à liaisons quelconques. — Théorème des travaux virtuels. — Équations de liaison. — Équations de l'équilibre. — Forces de liaison.

Attraction newtonienne. — Potentiel. — Cas des sphères.

39ᵉ LEÇON.

Hydrostatique. — Propriétés générales des fluides. — Pression. — Principe de Pascal. — Équilibre des fluides. — Surfaces de niveau. — Équilibre d'un fluide pesant; liquides superposés; vases communicants. — Équilibre relatif d'un liquide dans un vase tournant.

40ᵉ LEÇON.

Nivellement barométrique.

Pression d'un fluide pesant sur les parois. — Centre de pression. — Pression sur une paroi courbe.

Équilibre des corps flottants. — Principe d'Archimède.

DYNAMIQUE DES SYSTÈMES.

41ᵉ LEÇON.

Des systèmes matériels libres; forces extérieures et intérieures. — Équations différentielles du mouvement. — Constantes arbi-

traires, conditions initiales. — Intégrales d'un problème de dynamique.

Théorèmes généraux sur les sytèmes libres. — Théorème du centre de gravité; — observations vulgaires qui s'y rattachent, parquet glissant, plan incliné, natation, chariot hydraulique, fusées, etc. Théorèmes des projections et des moments des quantités de mouvements. — Recul des armes à feu. — Théorème des aires. — Plan du maximum des aires.

Extension des théorèmes généraux au mouvement relatif par rapport au centre de gravité; possibilité d'une révolution complète dans le cas où il n'existe que des forces intérieures.

42e LEÇON.

Théorème des forces vives. Cas où la somme des travaux élémentaires est la différentielle d'une fonction des positions des points du système; fonction des forces. Extension aux mouvements relatifs. — Travail de la pesanteur sur un système matériel.

Travail des forces intérieures, dans l'hypothèse où l'action mutuelle de deux points du système ne dépend que de leur distance. — Potentiel. — Énergie potentielle.

Énergie cinétique. — Énergie totale. — Principe de la conservation de l'énergie. — Exemples divers; arc et sa flèche; chute d'eau, pendule élastique. — Effets destructeurs des projectiles.

Remarque sur les cas où les théorèmes généraux fournissent des intégrales d'un problème de dynamique.

43e LEÇON.

Des systèmes à liaisons. — Principe de d'Alembert; forces perdues. — Équation générale résultant de la combinaison du principe de d'Alembert et de celui des travaux virtuels. — Théorème des forces vives pour le cas où les liaisons ne dépendent pas explicitement du temps.

Applications directes du principe de d'Alembert. — Masses pesantes suspendues aux extrémités d'un fil enroulé sur un cylindre horizontal. — Chaîne pesante glissant sur deux plans inclinés adossés. — Point pesant assujetti à rester sur une courbe mobile, etc.

44e LEÇON.

Mouvement d'un solide autour d'un axe fixe. — Composition des forces d'inertie d'un solide tournant. — Moments d'inertie. — Ellipsoïdes d'inertie. — Pressions sur les appuis. — Axes permanents de rotation. — Axes naturels. — Expériences de Foucault.

Pendule composé. — Réciprocité de l'axe de suspension et de l'axe d'oscillation. — Centre d'oscillation.

Théorie de la machine d'Atwood.

Indications sommaires sur le mouvement d'un solide autour d'un point fixe et sur le mouvement général d'un solide.

45e LEÇON.

Théorie des percussions. — Modification du principe de d'Alembert pour le cas des percussions. — Conséquences générales.

Choc direct de deux sphères. — Réflexion d'une bille sur une bande. — Effet des percussions sur un solide mobile autour d'un axe, contre-coup. — Centre de percussion. — Indications sommaires relatives à l'effet des percussions sur un solide à point fixe ou sur un solide libre.

Perte de force vive, théorème de Carnot. — Battage des pilotis. — Pendule balistique.

MACHINES.

46e LEÇON.

Notions générales sur les machines en mouvement — Discussion de l'équation des forces vives. — Transmission du travail. —

Résistances passives. — Effet des chocs. — Rendement; impossibilté du mouvement perpétuel.

Puissance d'une machine. — Cheval-vapeur.

47e LEÇON.

Des régulateurs; formule générale pour le calcul des régulateurs à force centrifuge. — Régulateur à boules. — Régulateur parabolique, isochronisme. — Régulateur à bras croisés. — Régulateurs de Rolland et de Foucault.

Modérateur à ailettes.

48e LEÇON.

Des volants. — Calcul des volants. — Manivelles à simple ou à double effet. — Deux manivelles rectangulaires à double effet. — Manivelle avec contrepoids. — Procédé graphique.

49e LEÇON.

Résistances passives. — Lois expérimentales du frottement de glissement au repos et pendant le mouvement. — Équilibre et mouvement d'un corps sur une surface. — Frottement dans les glissières de locomotives, dans la poulie fixe et le treuil, les tourillons, les pivots.

Effets utiles du frottement. — Encliquetage Dobo. — Valet de menuisier. — Embrayages à cônes de friction. — Freins.

Frein dynamométrique de Prony.

50e LEÇON.

Résistance au roulement. — Transport des matériaux sur des rouleaux; glissement et roulement d'un rouleau sur un plan.

Résistance des cordes, frottement, roideur. — Courroies sans fin.

Résistance des milieux, frottement, pénétration directe. — Pendule hydraulique. — Parachutes.

COURS DE PHYSIQUE.

M. LE VERRIER,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, PROFESSEUR.

OPTIQUE.

1re LEÇON.

Lois de la réfraction.

Mesure des indices par le minimum de déviation et par la réflexion totale.

2e LEÇON.

Vitesse de la lumière dans les différents milieux : expériences de Fizeau et de Foucault.

3e LEÇON.

Construction d'Huyghens. — Relation entre les indices et les vitesses de la lumière.

4e LEÇON.

Hypothèse des ondulations : équation d'un mouvement vibratoire sinusoïdal. — Composition de deux vibrations. — Phase : longueur d'onde. — Interférence.

5e LEÇON.

Expérience des deux miroirs : mesure de la longueur d'onde. — Franges colorées : interférences de divers ordres. — Application à la mesure des indices par le retard d'un faisceau lumineux.

6e LEÇON.

Anneaux colorés. — Lois expérimentales et théorie.

7e LEÇON.

Interférences dans les tuyaux sonores. — Principe de la photographie des couleurs.

8e LEÇON.

Diffraction. — Franges au bord des ombres. — Image d'une fente ou d'un écran étroits.

Définition d'un rayon lumineux pour des ondes de forme quelconque.

9e LEÇON.

Réseaux. — Application à la mesure des longueurs d'onde.

10e LEÇON.

Polarisation. — Définition du plan de polarisation. — Propriétés de la lumière polarisée. — Polariseurs et analyseurs.

11e ET 12e LEÇONS.

Expériences de Fresnel et Arago. — Impossibilité des interférences entre deux rayons polarisés à angle droit — Cas où ces deux rayons sont vus à travers un polariseur et un analyseur. — Lumière elliptique. — Couleurs d'interférence.

13e ET 14e LEÇONS.

Double réfraction. — Propriétés du quartz et du spath d'Islande. — Polarisation des deux rayons à angle droit. — Mesure du retard relatif. — Détermination des deux indices principaux dans un cristal à un axe.

15e ET 16e LEÇONS.

Étude des lames minces au microscope polarisant en lumière parallèle et en lumière convergente.

Polarisation chromatique.

Détermination du signe et de la biréfringence.



17ᵉ LEÇON.

Surface d'onde et ellipsoïde des indices dans les cristaux à un et à deux axes. — Détermination du plan et de l'angle des axes.

18ᵉ LEÇON.

Construction de la surface d'onde d'après les hypothèses de Fresnel sur l'élasticité.

Biréfringence développée par la compression du verre. — Polychroïsme.

19ᵉ LEÇON.

Polarisation rotatoire. — Biquartz. — Saccharimètre. — Polarimètre à pénombre. — Analyseur circulaire. — Hypothèse de Fresnel.

THERMODYNAMIQUE.

20ᵉ LEÇON.

Équivalent mécanique de la chaleur. — Déterminations expérientales. — Définition de l'énergie intérieure.

21ᵉ LEÇON.

Équations caractéristiques d'un corps. — Relations entre les coefficients thermiques.

22ᵉ ET 23ᵉ LEÇONS.

Étude des gaz parfaits. — Rapport des chaleurs spécifiques. — Énergie intérieure. — Calcul de l'équivalent. — Lignes isothermes et adiabatiques. — Cycle de Carnot. — Rendement. — Conditions de réversibilité.

24ᵉ ET 25ᵉ LEÇONS.

Principe de Clausius. — Définition de l'entropie et de la température absolue pour un corps quelconque. — Expression analytique des deux principes fondamentaux. — Équation de Thomson.

Vérifications expérimentales.— Applications à l'étude des changements d'états. — Chaleurs latentes — Points critiques.

26e LEÇON.

Étude des vapeurs saturées. — Détente et compression adiabatique. — Calcul de l'entropie et de l'énergie intérieure. — Diagrammes entropiques.

ÉLECTRICITÉ.

27e LEÇON.

Propriétés des aimants. — Définition des pôles. — Mesures du moment magnétique et de la composante terrestre. — Force coercitive. — Hystérésis. — Hypothèses sur la constitution des aimants.

28e LEÇON.

Champ magnétique. — Potentiel. — Lignes de force. — Flux de force. — Feuillets magnétiques.

29e ET 30e LEÇONS.

Électricité statique. — Champ électrique formé par des conducteurs en équilibre. — Potentiel, charge et capacité. — Instruments de mesure. — Condensateurs. — Mesure de la chaleur développée par la décharge électrique.

31e ET 32e LEÇONS.

Courants. — Loi de Laplace. — Lois de Ohm. — Définition de l'intensité, de la force électro-motrice et de la résistance. — Galvanomètres. — Lois de Kirchoff. — Pont de Wheaston. — Mesure des résistances.

33e LEÇON.

Énergie développée par un courant. — Loi de Joule.

Unités absolues et pratiques. — Rapport des deux unités électriques.

34ᵉ LEÇON.

Électrolyse. — Polarisation des électrodes. — Piles. — Accumulateurs. — Mesure de l'effet utile d'une pile et de sa résistance.

35ᵉ LEÇON.

Couples thermo-électriques. — Effets Peltier et Thomson.

36ᵉ LEÇON.

Champ magnétique d'un courant. — Assimilation d'un courant à un feuillet magnétique. — Solénoïdes.

37ᵉ LEÇON.

Actions mutuelles des courants. — Galvanomètres à cadre mobile. — Électro-dynanomètre.

38ᵉ LEÇON.

Électro-aimants. — Circuit magnétique. — Bobines portantes.

39ᵉ LEÇON.

Induction. — Loi de Lenz. — Coefficients d'induction et de self-induction. — Leur mesure.

40ᵉ LEÇON.

Force électro-motrice induite. — Application à l'étude des aimants. — Production d'un courant par la rotation d'un cadre dans un c' amp magnétique.

41ᵉ LEÇON.

Principe des dynamos. — Relation entre le moteur et le récepteur.

42ᵉ ET 43ᵉ LEÇONS.

Courants alternatifs. — Bobines d'induction. — Principe des transformations. — Phase, intensité et énergie efficace d'un cou-

rant. — Effet d'une self-induction ou d'une capacité dans le circuit. — Courants polyphasés — Moteurs à champ tournant. — Courants de Foucault.

44ᵉ LEÇON.

Oscillations électriques. — Décharge d'un condensateur. — Expériences de Hertz et de Tesla. — Principe de la télégraphie sans fils.

45ᵉ LEÇON.

Tube de Crookes. — Rayons X. — Relations entre l'électricité et la lumière.

COURS DE CHIMIE GÉNÉRALE.

G. CHESNEAU,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES, PROFESSEUR.

PREMIERE PARTIE.

LOIS GÉNÉRALES DE LA CHIMIE.

1re LEÇON.

Objet de la chimie. — Matière pondérable, énergie : loi de la conservation de la masse et de l'énergie.

Phénomènes réversibles et irréversibles ; réactions complètes non réversibles, réactions incomplètes réversibles ou équilibres chimiques; état de mouvement chimique, état de repos chimique : faux équilibres.

Marche suivie dans l'étude des phénomènes chimiques. — Lois chimiques des masses, lois chimiques de l'énergie.

Rappel des propriétés physiques des corps. — État cristallisé, état amorphe. Systèmes cristallins; hémiédrie, dimorphisme, isomorphisme.

LOIS CHIMIQUES DES MASSES.

Lois de Lavoisier, Proust, Dalton, Richter, Gay-Lussac.

Système des poids équivalents. — Équivalents en poids et en volume.

Système des poids atomiques. — Poids moléculaires et poids atomiques ; loi de Dulong et Petit.

Nomenclature.

Théorie atomique. — Hypothèse d'Avogadro et Ampère. Molécules et atomes chimiques ; valence des atomes.

Classification des éléments.

LOIS CHIMIQUES DE L'ÉNERGIE.

2e, 3e, 4e, 5e, 6e, 7e ET 8e LEÇONS.

Phénomènes thermiques, électriques, etc., accompagnant les réactions chimiques.

Combinaisons exothermiques et endothermiques; corps explosifs.

Calorimétrie. — Méthodes calorimétriques; calorimètre de Berthelot; bombe calorimétrique.

LOIS CHIMIQUES DE L'ÉNERGIE
S'APPLIQUANT AUX RÉACTIONS RÉVERSIBLES ET IRRÉVERSIBLES.

Travail d'une force; cycles; application des principes de la thermodynamique aux réactions chimiques.

Principe de l'équivalence. — Principe des travaux moléculaires; principe de l'équivalence calorifique des transformations chimiques, ou principe de l'état initial et de l'état final.

Application aux mesures calorimétriques : calcul de la chaleur dégagée dans une réaction; variation de cette chaleur dégagée suivant la température.

Principe de Carnot-Clausius. — Entropie; chaleur compensée et non compensée; prévision des réactions auxquelles peut donner lieu un système donné. — Principe du travail maximum ; sa véritable expression.

LOIS CHIMIQUES DE L'ÉNERGIE S'APPLIQUANT AUX RÉACTIONS RÉVERSIBLES.

Phénomènes de dissociation. — Expériences de Sainte-Claire-Deville, Debray, Troost, Isambert, Lemoine, Le Châtelier, Ost-

wald, Guldberg et Waage. Existence d'une limite fixe dans les réactions réversibles ; tensions fixes de dissociation.

Facteurs des équilibres chimiques. — Influence de la température, de la pression et de la concentration ou condensation sur l'état d'équilibre d'un système : relations existant entre ces facteurs.

Classification des réactions réversibles. — Systèmes totalement hétérogènes, homogènes, partiellement hétérogènes.

Loi du déplacement de l'équilibre. — Vérification expérimentale de cette loi pour les différents facteurs de l'équilibre.

Lois numériques des équilibres chimiques dans les différents systèmes. — Extension de l'équation de Clapeyron aux systèmes totalement hétérogènes : dissociation du carbonate de chaux.

Lois de l'équilibre dans les systèmes homogènes. — Dissociation de l'acide iodhydrique.

Lois de l'équilibre dans les systèmes partiellement hétérogènes. — *Dissolutions.* — Dissolution réciproque des solides, des liquides et des gaz ; loi de Henry. Courbes de solubilité, phénomènes de sursaturation. — Courbes de fusibilité des mélanges salins et des alliages.

Abaissement du point de congélation des solutions : loi de Raoult ; cryoscopie.

Abaissement de la tension de vapeur des solutions : loi de Wüllner.

Hypothèses sur la constitution des dissolutions salines.

Pressions osmotiques ; loi de Van t'Hoff, hypothèse d'Arrhénius.

Loi de l'équilibre dans les doubles décompositions. — Équation de Le Châtelier et de Van t'Hoff : vérifications expérimentales.

Applications diverses des lois de la dissociation. — Vérification de l'existence de composés définis.

INFLUENCE DES RÉSISTANCES PASSIVES
DANS LA RÉALISATION DES RÉACTIONS CHIMIQUES.

Influence de la pression, de la dissolution.

Actions de présence. — Influence des parois des corps poreux, etc.

État naissant.

Action de la chaleur et vitesse des réactions.

Action de la lumière. — Photochimie; principes de la photographie.

Action de l'électricité. — Électrochimie ; loi de Faraday.

Action des ferments (voir 50ᵉ leçon).

DEUXIÈME PARTIE.

ÉTUDE DES MÉTAUX ET DE LEURS COMPOSÉS.

9ᵉ, 10ᵉ, 11ᵉ, 12ᵉ ET 13ᵉ LEÇONS.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES MÉTAUX ET DE LEURS COMPOSÉS.

MÉTAUX.

Propriétés physiques des métaux.

État physique, aspect, couleur, forme cristalline, poids spécifiques, conductibilité, fusibilité, etc.

Propriétés mécaniques des métaux.

Propriétés chimiques des métaux. — Action des métalloïdes, de l'eau, des acides, des bases et des sels.

Classification des métaux.

ALLIAGES.

Propriétés physiques des alliages. — Examen miscroscopique des alliages; densité, dureté, conductibilité calorifique, électrique.

Fusibilité ; étude de la solidification des alliages, alliages eutectiques.

Constitution des alliages ; mélanges isomorphes, combinaisons définies.

Propriétés chimiques des alliages. — Action de la chaleur ; action de l'oxygène ; principe de la coupellation, de l'affinage.

Classification des métaux.

COMPOSÉS BINAIRES ET TERNAIRES MÉTALLIQUES.

Classification ; sels : théorie dualistique, sels neutres; théorie unitaire.

Hydrures métalliques. — *Chlorures.* — État naturel, préparation; propriétés générales et usages.

Bromures, iodures, fluorures, cyanures.

Oxydes métalliques. — État naturel. Préparation des oxydes amorphes, cristallisés : minéralogie synthétique. Propriétés générales, classification et usages des oxydes.

Sulfures métalliques. — État naturel. Préparation. Propriétés générales, classification et usage des sulfures.

Azotures, phosphures et arséniures métalliques.

Carbures, borures et siliciures métalliques.

COMPOSITION ET PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES SELS MÉTALLIQUES.

Propriétés physiques des sels. — Saveur, couleur, fusion, cristallisation, etc.

Action de l'eau sur les sels.

Solutions salines. — Coefficients de solubilité; mélanges réfrigérants; méthodes de cristallisation des sels.

Hydrates salins. — Eau de cristallisation, eau de constitution ; déliquescence, efflorescence ; fusion aqueuse, ignée.

Décomposition de l'eau par les sels; diffusion et dialyse.

Propriétés chimiques des sels. — Action de la chaleur; de l'électricité; action des métalloïdes, des métaux : loi de Richter.

Décomposition des sels par les acides, les bases et les sels. — Lois de Berthollet : leur sens exact d'après la loi générale d'équilibre; loi de thermoneutralité des sels de Hess.

SELS MÉTALLIQUES OXYGÉNÉS.

Hypochlorites, chlorates, perchlorates.

Hyposulfites, sulfites, sulfates. — État naturel, préparation, propriétés et usages.

Azotites. — *Azotates.* — État naturel, préparation, propriétés et usages.

Hypophosphites. — *Phosphites.* — *Phosphates.*

Arsénites. — *Arséniates.*

Carbonates. — État naturel, préparation, propriétés et usages. — *Borates.* — *Silicates.*

Caractères génériques des sels.

14e, 15e ET 16e LEÇONS.

POTASSIUM.

Métaux alcalins : leurs analogies.

Potassium. — État naturel. — Découverte du potassium par Davy. — Procédés de préparation de Gay-Lussac et Thénard, de Brünner.

Propriétés et usages.

Chlorure de potassium. — État naturel; extraction des mines de Stassfürt, des cendres de varech, des eaux mères des marais salants.

Propriétés et usages.

Bromure, iodure, fluorure, cyanure et sulfocyanure de potassium.

Oxydes de potassium. — Oxydes anhydres; hydrate de potasse, préparation, propriétés et usages.

Sulfures de potassium. — Monosulfure, sulfhydrate et polysulfures ; foie de soufre. — Usages.

Hypochlorite de potassium. — Préparation ; eau de Javel; usages.

Chlorate de potassium. — Préparation ; méthodes électrolytiques; propriétés, emplois.

Perchlorate de potassium.

Sulfite de potassium.

Sulfate de potassium. — Préparation, propriétés, usages.

Azotite de potassium.

Azotate de potassium. — État naturel : phénomènes de nitrification, ferments nitriques. Fabrication industrielle du salpêtre.

Propriétés de l'azotate de potassium : action des corps combustibles; emplois.

Carbonates de potassium. — Carbonate neutre, bicarbonate : propriétés et usages.

Carbonates impurs ou potasses commerciales ; état naturel et préparations industrielles : potasses des vinasses de betterave, de suint ; potasses dérivant du chlorure de potassium.

Silicates de potasse.

Caractères distinctifs des sels de potassium.

17e, 18e ET 19e LEÇONS.

SODIUM.

État naturel.

Préparation du sodium. — Méthode de H. Sainte-Claire Deville; procédé Kastner. — Électrométallurgie du sodium : procédés Grabau, Borchers.

Chlorure de sodium. — État naturel et extraction. — Propriétés et emplois.

Oxydes du sodium. — Soude caustique : préparation par voie chimique et par électrolyse.

Propriétés et usages.

Bioxyde de sodium.

Sulfures de sodium.

Hypochlorite de sodium.

Hyposulfite de sodium. — *Sulfites de sodium.*

Sulfate de sodium. — État naturel, préparation, propriétés et usages.

Bisulfate de sodium.

Azotite de sodium.

Azotate de sodium. — Gisements naturels : salpêtre du Pérou; propriétés et usages.

Arséniates de sodium. — *Phosphates de sodium.*

Borates de sodium. — Borax : fabrication et emploi.

Carbonates de sodium. — Carbonate neutre, sesquicarbonate et bicarbonate : préparation (principes des procédés Leblanc et Schlœsin), propriétés et usages.

Caractères distinctifs des sels de sodium.

LITHIUM.

20e LEÇON.

État naturel, préparation, propriétés. — Lithine. — Caractères et propriétés des sels de lithine.

Rubidium, cœsium et thallium : leur découverte par l'analyse spectrale; leur extraction. — Propriétés et caractères distinctifs de leurs composés.

SELS AMMONIACAUX.

Analogie des sels ammoniacaux et des sels de potassium correspondants : théorie de l'ammonium.

Production de l'ammoniaque et des sels ammoniacaux. — Ammoniaque des eaux d'épuration du gaz d'éclairage; ammoniaque des gazogènes (procédé Mond).

Chlorhydrate d'ammoniaque. — Préparation, propriétés et emplois.

Bromure, iodure, fluorure, cyanure et sulfocyanure d'ammonium.

Sulfures d'ammonium.

Sulfate d'ammoniaque. — Préparation, propriétés; emploi en agriculture.

Persulfate d'ammoniaque.

Azotite d'ammoniaque.

Azotate d'ammoniaque. — Préparation; propriétés, modes de décomposition par la chaleur. — Emploi.

Phosphates d'ammoniaque.

Carbonates d'ammoniaque.

Caractères distinctifs des sels d'ammonium.

21e ET 22e LEÇONS.

BARYUM.

Métaux alcalino-terreux : leurs analogies.

État naturel; préparation et propriétés du baryum.

Chlorure de baryum. — *Cyanure de baryum.*

Oxydes du baryum. — Baryte caustique; hydrates de baryte; bioxyde de baryum : préparation et propriétés.

Préparation de l'oxygène par le procédé Brin; emplois divers du bioxyde de baryum.

Sulfures de baryum. — Azoture et carbure de baryum.

Sulfate, azotate, carbonate de baryum.

Caractères distinctifs des sels de baryum.

STRONTIUM.

État naturel. — Préparation et propriétés du strontium et de ses principaux composés. — Caractères distinctifs des sels de strontium.

CALCIUM.

État naturel.

Préparation et propriétés du calcium métallique.

Chlorure de calcium.

Oxydes de calcium. — Chaux vive; chaux éteinte; emplois.

Sulfures de calcium. — Fluorescence des sulfures alcalino-terreux.

Carbure de calcium. — Préparation industrielle; propriétés; emplois.

Hypochlorite de calcium. — Chlorure de chaux décolorant : préparation, composition, propriétés et emplois.

Sulfate de calcium.—État naturel; gypse, plâtre : propriétés et emplois.

Azotate de calcium.

Phosphates de chaux. — Préparation : superphosphates. — Propriétés et usages.

Carbonate de chaux. — État naturel, variétés de calcaire; propriétés et emplois.

Caractères distinctifs des sels de calcium. — Comparaison des caractères des sels des métaux alcalino-terreux.

23e LEÇON.

MAGNÉSIUM.

Métaux de la série magnésienne : analogies et différences.

Magnésium. — État naturel. — Préparation chimique et électro-métallurgique du magnésium. — Propriétés et applications.

Chlorure de magnésium. — État naturel. — Principe de la préparation du chlore par les procédés Weldon-Péchiney, Schlœsing.

Magnésie. — Préparation, propriétés et usages.

Sulfate, phosphates et carbonate de magnésium.

Caractères distinctifs des sels de magnésium.

24e LEÇON.

ZINC.

État naturel. — Extraction. — Propriétés physiques et chimiques du zinc; usages.

Chlorure de zinc.

Oxyde de zinc. — Fabrication industrielle; emplois.

Sulfure de zinc. — État naturel, propriétés, usages.

Sulfate, carbonate de zinc.

Principes chimiques de la métallurgie du zinc.

Caractères distinctifs des sels de zinc.

Glucinium, gallium et indium.

Notions sommaires sur leurs propriétés et celles de leurs composés.

25e LEÇON.

ALUMINIUM.

État naturel; rapports avec les métaux du groupe du fer.

Préparation de l'aluminium. — Principe des procédés chimiques

(Sainte-Claire-Deville, Netto, Grabau), et électro-métallurgiques (Cowles, Minet, Héroult).

Propriétés et emplois de l'aluminium.

Chlorure, bromure, iodure et fluorure d'aluminium. — Cryolithe.

Alumine. — État naturel; préparation; propriétés; applications. — Aluminates.

Sulfate d'alumine et aluns. — État naturel, préparation, emplois.

Silicates d'alumine. — État naturel, argiles; emplois.

Caractères distinctifs des sels d'aluminium.

26e LEÇON.

Métaux du groupe du fer; leurs analogies.

Préparation du manganèse. — Emploi du four Moissan pour la préparation du manganèse pur; ferro-manganèses commerciaux. — Propriétés et usages.

Chlorure de manganèse.

Oxydes du manganèse. — Préparation et propriétés des divers oxydes du manganèse.

Bioxyde de manganèse; emplois.

Manganates.

Acide permanganique et permanganates.

Sulfure de manganèse.

Sulfate et carbonate de manganèse.

Caractères distinctifs des sels de manganèse.

27e LEÇON.

CHROME.

État naturel. — Préparation au four électrique; ferrochromes commerciaux. — Propriétés et usages.



Transformations allotropiques des sels de chrome. — Sels verts, sels violets; théories de Recoura.

Protochlorure et sesquichlorures de chrome.

Oxydes du chrome. — Préparations et propriétés des divers oxydes du chrome.

Sesquioxyde de chrome anhydre et hydraté; vert Guignet.

Acide chromique et chromates; préparation et propriétés.

Acide chlorochromique.

Acide perchromique.

Sels de sesquioxyde de chrome : sulfate, alun.

Caractères distinctifs des sels de chrome et des chromates.

28e ET 29e LEÇONS.

FER.

État naturel. — Préparation du fer pur. — Propriétés physiques et chimiques : états allotropiques du fer, points critiques. — Carbures de fer : fontes, acier; théories chimiques sur la trempe de l'acier.

Alliages du fer avec le manganèse, le chrome, le nickel, le tungstène, etc.

Chlorures de fer. — Protochlorure ; chlorure ferrique.

Cyanures de fer. — Ferrocyanures et ferricyanures : préparation et usages; bleu de Turnbull, bleu de Prusse. — Sulfocyanure de fer. — Nitroprussiates.

Oxydes du fer. — Protoxyde de fer anhydre et hydraté : préparation et propriétés.

Sesquioxyde de fer anhydre et hydraté : préparation, propriétés, emplois.

Oxyde magnétique.

Sulfures de fer. — Protosulfure. — Pyrites.

Sulfates de fer. — Préparation, propriétés et emplois du vitriol vert.

Azotate et carbonate de fer.

Principes chimiques de la métallurgie du fer; réactions dans les hauts-fourneaux, le Bessemer, etc.

Caractères distinctifs des sels ferreux et ferriques.

30e LEÇON.

COBALT.

État naturel. — Préparation et propriétés du cobalt pur; usages.

Chlorure de cobalt.

Oxydes du cobalt.

Sulfure de cobalt.

Sulfate, azotate, phosphate, aluminate, borate et silicate de cobalt.

Principes chimiques de la métallurgie du cobalt.

Caractères distinctifs des sels de cobalt.

NICKEL.

État naturel. — Préparation et propriétés du nickel pur; nickel-carbonyle. — Emplois du nickel.

Chlorure, oxydes, sulfate de nickel.

Principes chimiques de la métallurgie du nickel.

Caractères distinctifs des sels de nickel.

31e LEÇON.

CADMIUM.

État naturel. — Extraction. — Propriétés du cadmium et de ses principaux composés.

Caractères distinctifs des sels de cadmium.

ÉTAIN.

Groupe des métaux à fonction acide ; leurs analogies entre eux et avec l'arsenic et le silicium.

Étain. — État naturel, extraction, propriétés et usages. Alliages d'étain. — Fer-blanc.

Chlorures d'étain. — Pourpre de Cassius.

Oxydes d'étain. — Oxyde stanneux ; oxydes stannique, métastannique et parastannique : préparation et propriétés. — Emplois du bioxyde d'étain pour les émaux. — Stannates.

Sulfures d'étain. — Or mussif.

Caractères distinctifs des sels stanneux, stanniques et des stannates.

32e LEÇON.

TITANE.

État naturel, préparation, propriétés.

Acide titanique.

Caractères distinctifs des composés du titane.

ZIRCONIUM.

État naturel et propriétés des composés du zirconium ; zircone.

État naturel et applications des composés du cérium, du thorium, etc. — Becs Auer.

TUNGSTÈNE.

État naturel, préparation, propriétés, applications ; ferrotungstène.

Acide tungstique ; wolfram.

Caractères des composés du tungstène.

MOLYBDÈNE.

État naturel, préparation, propriétés. — Acide molybdique.

Caractères des composés du molybdène.

URANIUM.

État naturel; préparation et propriétés de l'uranium métallique. — Oxydes; caractères des composés de l'uranium.

ANTIMOINE.

État naturel. — Extraction. — Propriétés, usages. Alliages d'antimoine.

Chlorures d'antimoine. — Oxychlorure.

Oxydes d'antimoine. — Antimoniates et pyroantimoniates.

Sulfures d'antimoine. — Stibine; kermès.

Caractères distinctifs des sels d'antimoine et des antimoniates.

33e LEÇON.

BISMUTH.

État naturel, extraction, propriétés et usages.

Chlorure de bismuth, oxychlorure.

Oxydes de bismuth.

Azotate de bismuth.

Caractères distinctifs des sels de bismuth.

PLOMB.

État naturel. — Extraction.

Propriétés et usages du plomb et de ses alliages.

Chlorure, iodure de plomb.

Oxydes de plomb. — Préparation, propriétés et usages de la litharge, du minium et du bioxyde de plomb.

Sulfure de plomb. — État naturel, propriétés et usages.

Sulfate, chromate et azotate de plomb.

Carbonate de plomb. — Fabrication de la céruse par les procédés français, hollandais et électrolytique.

Principes chimiques de la métallurgie du plomb.

Caractères distinctifs des sels de plomb.

34e LEÇON.

CUIVRE.

État naturel ; préparation du cuivre pur.

Propriétés et usages du cuivre et de ses alliages.

Chlorures de cuivre. — Chlorures cuivreux et cuivrique ; principe de la fabrication du chlore par le procédé Deacon.

Iodure de cuivre.

Oxydes de cuivre. — Oxydes cuivreux et cuivrique.

Sulfures de cuivre. — Pyrite cuivreuse.

Sulfate de cuivre. — Préparations industrielles ; propriétés et usages.

Azotate de cuivre ; arsénite et arséniate.

Carbonates de cuivre. — Malachite, azurite.

Principes chimiques de la métallurgie du cuivre.

Caractères distinctifs des sels cuivreux et cuivriques.

35e LEÇON.

MERCURE.

État naturel; extraction, propriétés et usages.

Amalgames.

Chlorures de mercure. — Chlorures mercureux, mercurique.

Iodures, cyanure, sulfocyanure de mercure ; fulminate.

Oxydes de mercure.

Sulfures de mercure.

Sulfates, azotates de mercure.

Caractères distinctifs des sels mercureux et mercuriques.

36ᵉ LEÇON.

ARGENT.

État naturel. — Préparation de l'argent pur.

Propriétés et usages de l'argent; alliages.

Chlorure, bromure, iodure et cyanure d'argent. — État naturel, préparation, propriétés et usages, application à la photographie.

Oxydes d'argent. — Argent fulminant.

Sulfure d'argent.

Sulfate d'argent.

Azotate d'argent. — Préparation et propriétés; usages.

Carbonate d'argent.

Principes chimiques de la métallurgie de l'argent.

Caractères distinctifs des sels d'argent.

37ᵉ LEÇON.

OR.

État naturel, préparation de l'or pur; propriétés. — Usages et essais des alliages d'or. — Procédés de dorure.

Chlorures d'or.

Oxydes, sulfures d'or.

Principes chimiques de la métallurgie de l'or; extraction par le cyanure de potassium.

Caractères distinctifs des sels d'or.

PLATINE ET MÉTAUX DE LA MINE DE PLATINE.

État naturel. — Comparaison des propriétés physiques et chimiques du platine, de l'iridium, du rhodium, du palladium, du ruthénium et de l'osmium.

Platine. — Extraction et fusion du platine; usages.

Chlorures, oxydes du platine : préparation et propriétés.

Caractères distinctifs des sels de platine.

Préparation et propriétés du ruthénium, du rhodium, du palladium, de l'osmium et de l'iridium.

TROISIEME PARTIE.

NOTIONS DE CHIMIE ORGANIQUE.

38e LEÇON.

NATURE ET CONSTITUTION DES MATIÈRES ORGANIQUES.

Éléments contenus dans les matières organiques. — Production des substances organiques : analyse immédiate, méthodes synthétiques.

Analyse élémentaire.

Détermination de la formule moléculaire.

Polymérie, isomérie.

Formules de constitution. — Radicaux organiques.

Loi des substitutions. — Types chimiques.

Corps actifs et inactifs sur la lumière polarisée; hypothèse du carbone tétraédique de Lebel et Van t'Hoff.

Corps homologues; fonctions chimiques.

Classification des substances organiques d'après leurs fonctions chimiques.

39e ET 40e LEÇONS.

CARBURES D'HYDROGÈNE.

Synthèse des principaux hydrocarbures.

Carbures saturés, ou paraffines : C^nH^{2n+2}.

Méthane. — Pétroles; paraffine.

Carbures éthyléniques, ou oléfines : C^nH^{2n}.

Éthylène, propylène, butylène, amylène.

Carbures acétyléniques : C^nH^{2n-2}.

Acétyléne, allylène.

Carbures camphéniques : C^nH^{2n-4} et leurs polymères.

Essence de térébenthine : propriétés physiques et chimiques. — Modifications isomériques. — Usages.

Résines. — Vernis. — Caoutchouc : Vulcanisation. — Gutta-percha.

Produits de la distillation de la houille. — Huiles légères, huiles lourdes, brai.

Carbures benzéniques : C^nH^{2n-6}.

Benzène : Extraction, propriétés physiques et chimiques. — Usages. — Constitution de la benzine et formation de ses dérivés : dérivés chlorés ; nitrobenzine.

Toluène.

Carbures pyrogénés.

Naphtalène. — Anthracène. — Production, propriétés et usages.

41e ET 42e LEÇONS.

ALCOOLS MONOATOMIQUES ET ÉTHERS.

Définition de la fonction alcool. — Alcools monoatomiques et polyatomiques. — Classification des alcools monoatomiques : alcools primaires, secondaires et tertiaires.

Alcool éthylique ou éthanol.

Synthèse de l'alcool éthylique. — Préparation de l'alcool absolu. — Propriétés physiques et chimiques : action de l'oxygène, du chlore, de l'eau, des acides.

Fermentation alcoolique. — Alcools industriels.

Éthers-oxydes. — Éther ordinaire ou oxyde d'éthyle. — Préparation : théorie de l'éthérification. — Propriétés et usages de l'éther.

Sulfure d'éthyle. — Composés organométalliques : zinc-éthyle.

Éthers-sels. — Préparation et propriétés.

Éthers simples : éthers éthylchlorhydrique ; iodure d'éthyle.

Éthers composés : acétate, oxalate d'éthyle.

Homologues de l'alcool éthylique.

Esprit de bois ou alcool méthylique (méthanol). — Préparation, propriétés physiques et chimiques.

Éthers de l'alcool méthylique. — Chlorure de méthyle : préparation; dérivés chlorés : chloroforme.

Alcools butyliques.

Alcools amyliques.

Cires. — Propriétés, usages.

Alcools de diverses séries. — Alcools allyliques, campholiques, aromatiques.

43e LEÇON.

ALCOOLS POLYATOMIQUES.

Alcools diatomiques. — Glycol : préparation, propriétés physiques et chimiques.

Éthers du glycol.

Alcools triatomiques. — Glycérine : préparation, propriétés et usages.

Éthers de la glycérine.

Nitroglycérine : préparation, propriétés et usages. — Dynamite.

Stéarine, margarine et oléine. — Corps gras neutres : leur constitution chimique. — Huiles et suifs : fabrication des bougies stéariques et des savons.

44e LEÇON.

PHÉNOLS ET LEURS DÉRIVÉS.

Définition et fonction des phénols.

Phénols monoatomiques. — Phénol ou acide phénique : extraction, synthèse; propriétés, usages.

Acide picrique.

Phénols diatomiques. — Orcine; hydroquinone.

Phénols triatomiques. — Acide pyrogallique.

45e LEÇON.

ALDÉHYDES. — CÉTONES. — QUINONES.

Définition de ces fonctions.

Production et propriétés générales des aldéhydes.

Aldéhyde éthylique ou éthanal : préparation et propriétés.

Chlorure d'acétyle. — Aldéhyde trichlorée ou chloral.

Aldéhyde benzoïque; essence d'amandes amères.

Cétones. — Acétone éthylique ou propanone : préparation et propriétés.

Carbonyles. — Camphre : préparation et propriétés.

Quinones. — Quinone type; anthraquinone, alizarine.

46e LEÇON.

SUCRES.

Classification des matières sucrées : glucoses et saccharoses.

Glucoses. — Dextrose, lévulose, galactose : état naturel, préparation et propriétés.

Glucosides.

Saccharoses. — Lactose, maltose, sucre ordinaire : état naturel, préparation et propriétés. — Extraction du sucre de betterave.

47ᵉ LEÇON.

POLYSACCHARIDES.

Dextrine. — Préparation, usages.

Gommes, mucilages.

Matières amylacées. — État naturel, propriétés. — Amidon et fécule : extraction et usages.

Cellulose. — Propriétés physiques et chimiques.

Celluloses nitrées : coton-poudre, collodion.

48ᵉ LEÇON.

ACIDES ORGANIQUES.

Définition et production des acides organiques.

Acides monobasiques de la série grasse. — Propriétés générales.

Acide formique ou méthanoïque. — Formiates.

Acide acétique ou éthanoïque ; propriétés ; préparation de l'acide acétique, du vinaigre. — Acétates.

Acide butyrique; margarique, stéarique et oléique; benzoïque.

Acides polybasiques.

Acide oxalique; préparation, propriétés, usages. — Oxalates.

Acides à fonction mixte. — Acides lactique, malique, tartrique et citrique.

Acide gallique; tannin.

49ᵉ LEÇON.

AMINES. — ALCALOÏDES VÉGÉTAUX. — AMIDES. — NITRILES.

Composés azotés basiques correspondant aux alcools et aux phénols.

Amines des alcools monoatomiques. — Modes généraux de formation des amines : méthylamine, éthylamine.

Amines correspondant aux alcools diatomiques.

Amines acides. — Glycocolle. — Indigo.

Amines correspondant aux phénols. — Aniline; préparation, propriétés et usages; notions sur les couleurs d'aniline.

Composés azoïqnes, diazoïques. — Hydrazine; pyridine; quinoléine.

Alcaloïdes végétaux. — État naturel, extraction, propriétés générales; quinine, nicotine.

Amides et nitriles. — Oxamide; urée.

50e LEÇON.

MATIÈRES ALBUMINOÏDES.

Composition des matières albuminoïdes : albumine, caséine, fibrine; sang.

FERMENTATIONS.

Classification des ferments : ferments solubles ou diastases; ferments organisés.

Fermentations produites par les diastases. — Diastase de l'orge germé, invertine, pepsine, etc. — Alcoolase de Büchner. — Oxydases.

Fermentations produites par les ferments organisés. — Expériences de Pasteur; modes de cultures microbiennes, stérilisation.

Classification de ferments organisés : levûres, bactéries ou microbes.

Fermentations alcooliques.

Fermentations lactique, butyrique, ammoniacale, acétique, nitrique.

NOTATIONS

ADOPTÉES

DANS L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉCOLE DES MINES.

Des notations bien définies et uniformes, dans les nombreuses formules des sciences mathématiques et physiques, aident beaucoup la mémoire et facilitent les applications.

Il existe déjà quelques symboles si généralement admis qu'il n'est pas nécessaire de les définir quand on en fait usage, tels que π pour le rapport de la circonférence au diamètre, e pour la base des logarithmes népériens. Il serait fort intéressant d'augmenter, ne fut-ce que de quelques unités, le nombre de ces symboles universellement adoptés. Il convient, en outre, d'écrire d'une manière uniforme les principales formules qui se présentent dans les différents cours d'une même école; si les notations communes, ainsi adoptées, sont logiques et commodes, si elles se rapprochent de celles qui sont déjà admises assez fréquemment, il est probable qu'elles sortiront de l'école qui les aura choisies. On fait un premier pas vers une unification générale en créant un système convenable de notations dans un grand établissement tel que l'École nationale supérieure des mines. Le projet présenté aujourd'hui s'applique principalement à l'étude de la mécanique appliquée. Il a été établi en tenant compte le mieux possible des usages des divers professeurs de l'école et des symboles employés dans les principaux ouvrages techniques. Pour l'électricité, la plupart des notations indiquées sont d'un usage général; plusieurs sont internationales.

Les notations usuelles comprennent les lettres minuscules des alphabets romain et grec, les majuscules de l'alphabet romain,

écrites de deux manières, en capitales et en cursives, et quelques majuscules de l'alphabet grec qui diffèrent des majuscules romaines. La différence des lettres droites et italiques n'est pas suffisante pour distinguer clairement les minuscules romaines, surtout dans les manuscrits. On dispose ainsi de 26 minuscules romaines, 26 majuscules capitales romaines, 25 majuscules cursives romaines (I et J ne se distinguant pas), de 28 minuscules grecques (en tenant compte des deux manières différentes d'écrire le β, le θ, le π et le σ), et de 11 capitales grecques seulement (Γ, Δ, Θ, Λ, Ξ, Π, Σ, Υ, Φ, Ψ, Ω). Cela fait au total 116 lettres différentes. Toutefois les majuscules cursives ne se distinguent pas toujours aisément des majuscules romaines.

On peut employer les diverses manières d'écrire une même lettre pour différencier les formes variées d'une même quantité. Mais cette méthode n'est pas appliquée d'une manière générale : l'emploi des indices et des accents donne plus de ressources. Nous proposons l'usage des indices pour désigner des acceptions diverses d'une même quantité, telles que P_i et P_e pour puissance indiquée et puissance effective, ou pour distinguer des systèmes d'unités différents. Les accents serviraient à distinguer diverses valeurs particulières, et les indices 0, 1, 2 les valeurs successives d'une même quantité.

Souvent on a choisi comme symbole la lettre initiale de la quantité représentée : cette méthode donne fréquemment des significations différentes à la même lettre; elle se prête mal à l'unification internationale; l'expérience prouve au contraire que certains choix, qui semblent complètement arbitraires, peuvent être assez généralement admis : telles sont, par exemple, les notations de Zeuner relatives à la vapeur d'eau. Il y a donc peu d'avantages au choix des lettres initiales; mais il n'y a pas lieu de les repousser systématiquement quand elles sont déjà adoptées usuellement; telles sont les lettres t pour désigner un temps; m, une masse; p, une pression.

Il serait peu utile de dresser un tableau étendu de toutes les lettres qu'on peut employer dans les formules : ce qu'il convient de préciser, ce sont les notations d'un usage courant et général; mais il se présente dans toute étude des sujets spéciaux pour lesquels le choix des lettres n'a qu'une importance secondaire et doit être laissé à l'appréciation de chaque auteur : il suffira de ne pas choisir des lettres ayant une acception bien précise pouvant prêter à la confusion.

En général, les formules doivent être homogènes, de sorte que les quantités qui y figurent sont indépendantes des unités choisies. Il est cependant utile, dans certains cas, de mettre en évidence ces unités. On pourrait alors employer les mêmes lettres en les caractérisant par un indice spécial : c'est ainsi que l'indice *m* désignerait les unités métriques usuelles, l'indice *c* les unités du système *c. g. s.* l'indice *b*, les unités anglaises. Par exemple, p désignant une pression, p_m serait une pression exprimée en kilogrammes par mètre carré; p_c, une pression exprimée en dynes par centimètre carré; p_b, une pression en livres par pouce carré; v étant une vitesse, v_m serait la vitesse en mètres par seconde; v_k la vitesse en kilomètres à l'heure. L'équivalent mécanique de la chaleur E devient E_m, quand on compare la calorie au kilogrammètre; E_b, quand on compare l'unité anglaise de chaleur (quantité de chaleur élevant une livre d'eau de 64° à 65° Fahrenheit) à la livre-pied. Les indices peuvent aussi servir à indiquer certaines particularités.

Le tableau qui suit donne les valeurs proposées pour ces indices :

TABLEAU DES INDICES.

m, unités du système métrique (mètre, kilogramme, seconde; cheval-vapeur).

c, unités des systèmes *c. g. s.* (centimètre, gramme, seconde; dyne).

b, unités anglaises.

a, atmosphère (p_a, pression atmosphérique).
i, puissance ou travail indiqué.
e, puissance ou travail effectif.
o, puissance ou travail moteur.
u, puissance ou travail utile.
r, puissance ou travail résistant.
h, heure et kilomètre (v_h, vitesse en kilomètres à l'heure).
t, tangentielle (accélération j_t).
n, normale (accélération j_n).

Les significations fondamentales des lettres sont indiquées dans les tableaux qui suivent; elles sont groupées suivant les branches de la mécanique auxquelles elles s'appliquent spécialement; mais on doit bien comprendre que la plupart des lettres indiquées dans chacun de ces tableaux peuvent s'appliquer également aux diverses branches de la mécanique.

MÉCANIQUE GÉNÉRALE.

t, temps.
l, longueur.
v, vitesse.
ω, vitesse angulaire.
m, masse.
j, accélération (j_t, accélération tangentielle, j_n, — normale).
g, accélération due à la pesanteur ($g_m = 9{,}8094$ à Paris; $g_b = 32{,}2$ è Londres).
F, force.
T, Travail.
W, puissance.
M, moment d'une force.
ρ, rayon de courbure.
f, coefficient de frottement.
φ, angle de frottement.
η, rendement.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

i, allongement par unité de longueur.
I, moment d'inertie.



$\mathscr{E}$. coefficient d'élasticité.

R, effort par unité de surface.

HYDRAULIQUE ET PNEUMATIQUE.

p, pression.

v, tantôt volume de l'unité de masse, tantôt vitesse absolue.

u, vitesse moyenne, ou vitesse d'entraînement.

w, vitesse relative.

ω, section (ne pas confondre avec une vitesse angulaire).

χ, périmètre.

z, altitude.

ζ, perte de charge.

J, perte de charge par unité de longueur.

Q, débit en volume.

P, débit en poids.

ϖ, poids spécifique.

Υ, vitesse perdue.

H, hauteur d'une chute.

θ, température centigrade.

τ, température absolue ($\tau = \theta + 273$).

R, coefficient des gaz ($pv = R\tau$).

E, équivalent mécanique de la chaleur.

A, inverse de l'équivalent $\left(A = \frac{1}{E}\right)$.

U, énergie interne (de l'unité de masse).

s, entropie (de l'unité de masse).

$\mathscr{C}$, chaleur spécifique en général.

c, chaleur spécifique à volume constant.

C, chaleur spécifique à pression constante.

Q, quantité de chaleur.

k ou γ, rapport $\frac{c}{C}$ des chaleurs spécifiques à volume constant et à pression constante.

MACHINES À VAPEUR.

λ, chaleur totale pour chauffer et vaporiser un kilogramme d'un liquide.

q, chaleur du liquide.

r, chaleur totale de vaporisation.
ρ, chaleur latente interne.
σ, volume initial du kilogramme de liquide.
u, accroissement de volume dans la vaporisation isotherme ($\lambda = q + \rho + Apu$).
δ, angle d'avance d'un excentrique.
α, angle de rotation d'une manivelle.
ε, avance linéaire d'un tiroir.
n, nombre de tours (par minute).

ÉLECTRICITÉ.

$\mathcal{F}$, force électrique.
U, Différence de potentiel.
Q, quantité d'électricité.
E, force électromotrice.
C, capacité.
R, résistance.
ρ, résistivité.
I, Intensité d'un courant.
Δ, δ, densité de courant.
$\mathcal{H}$, force magnétique.
$\mathcal{B}$, induction.
$\mathcal{A}$, aimantation.
μ, perméabilité.
$\mathcal{R}$, réluctance.
Φ, flux magnétique.
L, coefficient de self-induction.
M, coefficient d'induction mutuelle.
Z, impédance.
AT, ampères-tours.
T, période d'un courant alternatif.
p, nombre de paires de pôles.
φ, décalage ou différence de phase.

Pour désigner les unités du système métrique, le Comité international des poids et mesures a adopté des abréviations très généralement usitées, et il ne faut jamais en employer d'autres. Ces

abréviations, qui s'écrivent indifféremment en romaines ou en italiques, sont les suivantes :

A. — Mesures de longueur.		B. — Mesures de superficie.	
Kilomètre	*km.*	Kilomètre carré	km^2.
Mètre	*m.*	Hectare	*ha.*
Décimètre	*dm.*	Are	*a.*
Centimètre	*cm.*	Mètre carré	m^2.
Millimètre	*mm.*	Décimètre carré	dm^2.
Mikron ($0^{mm}001$)	μ.	Centimètre carré	cm^2.
		Millimètre carré	mm^2.

C. — Mesures de volume.		D. — Mesures de capacité.	
Mètre cube	m^3.	Hectolitre	*hl.*
Stère	*s.*	Décalitre	*dal.*
Décimètre cube	dm^3.	Litre	*l.*
Centimètre cube	cm^3.	Décilitre	*dl.*
Millimètre cube	mm^3.	Centilitre	*cl.*
		Millilitre	*ml.*
		Microlitre ($0^{ml}001$)	λ.

E. — Poids.			
Tonne	*t.*	Décigramme	*dg.*
Quintal métrique	*q.*	Centigramme	*cg.*
Kilogramme	*kg.*	Milligramme	*mg.*
Gramme	*g.*	Microgramme ($0^{mg}001$)	γ.

SUPPLÉMENT À LA NOTICE HISTORIQUE

SUR

L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES,

PAR M. AGUILLON,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES, PROFESSEUR À L'ÉCOLE.

A l'occasion de l'Exposition universelle de 1889 à Paris, une notice publiée par M. L. Aguillon a donné l'historique détaillé de l'École des mines de Paris, depuis sa fondation à la Monnaie en 1783 jusqu'en 1889. Il serait inutile de revenir sur ces renseignements et il nous suffira pour tout ce passé d'avoir reproduit à la suite de cette note, après les avoir mis au courant jusqu'à l'heure actuelle, les tableaux chronologiques qui résumaient en partie cette histoire.

Dans les dix ans écoulés depuis cette publication, l'École des mines n'a pas subi de changements sensibles dans son régime et dans sa consistance, encore que, par deux fois, sa charte organique ait été renouvelée par les décrets des 18 juillet 1890 et 18 octobre 1896 et modifiée par le décret du 19 décembre 1899. A vrai dire, les deux premiers de ces act s ne sont intervenus que pour codifier, dans une forme administrative régulière, les quelques modifications que le cours du temps, dans les circonstances que nous avons traversées, ne pouvaient pas ne pas amener dans l'institution si elle voulait rester fidèle à sa destinée et à ses traditions. Le décret du 19 décembre 1899 a eu pour objet de supprimer la limitation des catégories de personnes sur lesquelles devaient se porter les présentations du Conseil ou

du Directeur de l'École, désormais consultatives, et de remettre le choix définitif au Ministre pour la nomination des professeurs et des agents techniques ou administratifs.

Comme par le passé, l'École a un double but : préparer, d'une part, les ingénieurs recrutés à l'École polytechnique qui doivent former le Corps national des mines, et, d'autre part, instruire les jeunes gens qui veulent obtenir le diplôme d'« ingénieur civil des mines » que confère l'École. Les récents décrets de 1890 et de 1896 paraissent avoir voulu mettre plus en évidence que jadis ce second objet. Il n'est pas douteux que le service rendu à l'État par la formation de quatre à cinq ingénieurs du Corps des mines est singulièrement accru par l'instruction technique donnée aux vingt-huit à trente ingénieurs civils français qui en sortent tous les ans, sans parler des huit à dix élèves de nationalité étrangère.

Aucun changement n'est survenu dans le mode de recrutement des *élèves-ingénieurs*, ou des élèves qui doivent entrer dans le Corps national des mines. Il n'en a pas été de même pour les *élèves externes* français, destinés à devenir des ingénieurs civils.

Les *cours spéciaux*, comme on appelle ceux de l'enseignement proprement dit de l'École, de son enseignement professionnel, étant exclusivement faits en vue de l'application, ne peuvent être suivis que lorsque les élèves ont acquis des connaissances suffisantes en des matières dont le programme n'appartient pas à l'enseignement scientifique secondaire, mais exclusivement à l'ensei-seignement scientifique supérieur comme ceux de l'École polytechnique et des Facultés des sciences, ou comme celui qui se donne dans les écoles d'application où tous les élèves viennent de la même origine, sans le dualisme qui se rencontre à l'École des mines de Paris. Aussi pour en faciliter l'accès aux ingénieurs civils, on avait, dès 1844, annexé à l'enseignement proprement dit les leçons nécessaires de culture générale en analyse mathématique, mécanique, physique et chimie. Ces *cours préparatoires*,

comme ils étaient appelés dès cette époque, n'étaient pas considérés comme rentrant dans l'enseignement même de l'École; les élèves qui étaient admis à les suivre, bien que reçus en nombre limité après un concours, n'étaient pas considérés comme élèves de l'École. La véritable admission avait lieu, pour les cours spéciaux, par un concours auquel, au début, toutes personnes étaient admises, sauf question d'âge, sans privilège, ni faveur, les élèves des cours préparatoires, comme les jeunes gens venant des Facultés des sciences ou de l'École polytechnique. Le régime de l'admission aux cours spéciaux a souvent changé avec les circonstances, suivant notamment que des élèves de l'École polytechnique, démissionnaires à leur sortie de cette École, se présentaient à l'École des mines en plus ou moins grand nombre. Après bien des variations on s'était, en 1883, arrêté à un système assez complexe, où l'on avait essayé de faire une part équitable aux diverses provenances. Dans ce régime, à la fin de l'année scolaire, les élèves des cours préparatoires étaient classés d'après les notes d'examens qu'ils venaient de subir. Ceux qui avaient une moyenne réputée suffisante étaient inscrits sans avoir à subir d'autres épreuves, en tête de la liste des élèves aux cours spéciaux, des vrais élèves externes. On portait à la suite, sans épreuves nouvelles, un certain nombre d'élèves de l'École polytechnique sortis de cette école avec une moyenne déterminée. Le reste des places disponibles était seul effectivement mis au concours entre tous candidats, d'où qu'ils vinssent, sans distinction ni privilège entre eux.

Comme, pour les cours préparatoires, on n'est pas étroitement tenu par le nombre des places disponibles aux laboratoires et dans les salles de dessin, alors qu'on l'est pour les cours spéciaux, on avait ainsi été conduit à recevoir aux cours préparatoires beaucoup plus d'élèves qu'on savait pouvoir en garder dans les cours spéciaux. On réalisait à la vérité une plus sévère sélection entre les

candidats à ces cours et par suite entre les candidats finalement gardés à l'École.

Mais il a paru que l'avantage de cette sélection était plus que contrebalancé par l'inconvénient d'obliger une dizaine de jeunes gens chaque année à s'attarder dans des études qui ne leur ouvrent point une carrière. L'expérience montrait, d'autre part, qu'il n'y avait pour ainsi dire pas de candidats en dehors des élèves des cours préparatoires, sauf quelques rares élèves venant de l'École polytechnique. Le règlement de 1896 a donc réalisé une dernière évolution en mettant désormais l'entrée de l'École pour les élèves externes à l'entrée même des cours préparatoires. Désormais on passe de cette année de début à la première année de cours spéciaux, dans les mêmes conditions que de celle-ci à la seconde année, pourvu que les notes des examens de fin d'année soient satisfaisantes.

Dans l'état des places disponibles, l'École reçoit ainsi annuellement au concours à l'entrée des cours préparatoires, 25 élèves externes, auxquels on peut ajouter, en première année de cours spéciaux, sans examen ni concours, de trois à cinq élèves sortant de l'École polytechnique que l'on admet à raison de leurs notes de sortie de cette École.

Ce qu'il faut relever particulièrement, c'est le nombre toujours croissant des candidats qui se présentent au concours d'entrée. Il y a quelques années il pouvait être de trente à quarante-cinq, aujourd'hui il dépasse cent et les notes d'examens indiquent un relèvement de la moyenne. Sans doute, la loi militaire du 15 juillet 1889 n'a pas été tout à fait étrangère à ce résultat. Il tient aussi et surtout à un besoin plus grand d'ingénieurs dans les mines et la métallurgie, conséquence du grand développement de ces industries, tant en France qu'à l'étranger, et de la préférence qu'elles accordent aux ingénieurs formés par cet enseignement tout à fait spécial et caractéristique donné dans les Écoles de mines.

Le mode de recrutement des élèves externes a été le plus grand, pour ne pas dire le seul changement notable de ces dix dernières années.

Rien n'a été modifié dans le mode même d'instruction, consacré par une ancienne et forte tradition.

Le programme des cours avait été si attentivement et si profondément revisé en 1887-1888 qu'il ne comportait pas de modifications notables. Néanmoins, il a fallu donner à l'électricité la place qui lui revient aujourd'hui dans toutes les écoles d'application; au lieu de quelques conférences, on a dû en 1893 créer un véritable cours. Par contre, les conditions nouvelles du service militaire des élèves par suite de la loi du 15 juillet 1889 ont permis de supprimer le cours d'artillerie.

Quelques changements sont survenus dans le personnel enseignant; ils sont suffisamment indiqués dans les tableaux chronologiques annexes. L'École ne peut que regretter d'avoir perdu des professeurs comme Mallard, cet esprit si rare et si profond en des voies si diverses, minéralogiste éminent, philosophe naturaliste de si haute envergure, ou comme M. Ch. Ledoux, dont le cours d'exploitation des mines se ressentait de l'autorité due à une carrière industrielle si féconde en grandes œuvres. Mais à des institutions fortement constituées et solidement assises comme l'École des mines de Paris les hommes ne manquent jamais.

Si les collections ont continué à s'accroître et à s'enrichir, rien n'a été modifié dans les installations plus spécialement destinées à l'instruction immédiate des élèves, amphithéâtres, laboratoires, salles de dessin. Et c'est par là que l'École est présentement empêchée de prendre le développement qu'il lui faudrait pour répondre aux besoins évidents des industries minière et métallurgique. L'accroissement du nombre des candidats, les demandes des industriels, tout concourt à montrer que le nombre des élèves externes devrait être augmenté de dix à douze par promotion. En

remaniant les installations dans cette voie, on pourrait aussi permettre aux élèves étrangers de participer plus complètement aux exercices pratiques, dont ils sont parfois écartés actuellement par le manque de places dans les laboratoires. Le Conseil de l'École a soumis à l'Administration supérieure des propositions qui permettraient d'atteindre ces résultats sans dépenses considérables et sans accroissement de charges pour le budget de l'État.

ANNEXES

I. — Tableaux chronologiques.

§ 1er. — Administration et direction de l'École.

(Les chiffres entre parenthèses à la suite de chaque nom indiquent les dates de la naissance et de la mort.)

DIRECTEURS.		INSPECTEURS.		OBSERVATIONS.
TEMPS de service.	NOMS.	TEMPS de service.	NOMS.	
		École des mines à la Monnaie.		
1783-1790	Sage (1740-1824)	″	″	″
		École des mines à l'hôtel de Mouchy (1794-1802).		
″	″	″	″	L'École était administrée directement par les trois membres du conseil : Gillet de Laumont, Lelièvre, Lefebvre d'Hellancourt.
		École des mines du Mont-Blanc à Moutiers (Savoie) [1].		
1802-1814	Schreiber (1746-1827)	″	″	Il n'y avait pas à proprement parler d'inspecteur en Savoie ; mais il y a eu plusieurs sous-directeurs ou ingénieurs attachés à la direction à titre plus ou moins temporaire et que pour ce motif on ne rappelle pas ici.
		École des mines à Paris.		
1815	Collet-Descotils (1773-1815), dir. provisoire.	″	″	Il n'y a pas eu de directeur jusqu'en 1848. L'École était administrée par le Conseil dont l'inspecteur était le bras exécutif. Dufrénoy avait été adjoint comme inspecteur à Lefroy en 1834.
″	″	1816-1836	Lefroy (1771-1842).	
″	″	1836-1848	Dufrénoy (1792-1857).	
1848-1857	Dufrénoy, *d. n.*	1848-1856	Le Play (1806-1882).	
1857-1871	Combes (1801-1872).	1856-1862	De Sénarmont (1808-1862).	
1872-1884	Daubrée (1814-1896).	1862-1870	Gruner (1809-1883).	
1884-1885	Lan (1826-1885).	1870-1882	Dupont (1817-1896).	
1885-1887	Luuyt (1825-1887).	1882- ″	Carnot (1839- ″).	
1887-	Haton de la Goupillière (1833- ″).			

[1] On sait que de 1802 à 1814 l'École des mines fut transférée de Paris à Pesey ou plus exactement Moutiers en Savoie.

§ 2. — Chronologie des cours spéciaux [1].

1° EXPLOITATION DES MINES ET MACHINES.

(Le cours a été dédoublé en 1888 dans les deux cours distincts d'*exploitation des mines* et de *machines*.)

École des mines à la Monnaie.

Guillot-Duhamel père	(1730-1816)	1783-1790	

École des mines de la rue de l'Université.

Guillot-Duhamel père	(1730-1816)	1794-1796	Suppléé par son fils.
Baillet du Belloy...	(1765-1845)	1796-1802	

École des mines du Mont-Blanc.

Baillet du Belloy...	(1765-1845)	1802-1814	

École des mines à Paris.

Baillet du Belloy...	(1765-1845)	1814-1832	
Combes..........	(1801-1872)	1832-1856	Suppléé depuis 1848 par Callon, son successeur.
Callon...........	(1815-1875)	1856-1875	Suppléé depuis 1872 par M. Haton de la Goupillière, son successeur.
Haton de la Goupillière...........	(1833- 〃)	1875-1888	

2° EXPLOITATION DES MINES.

(y compris la préparation mécanique.)

(Cours distinct créé en 1888, par dédoublement du cours [1°] d'*exploitation des mines et machines*.)

Ledoux..........	(1837- 〃)	1888-1897
Pellé............	(1861- 〃)	1897- 〃

3° MACHINES.

(Cours distinct créé en 1888 par dédoublement du cours [1°] d'*exploitation des mines et machines*.)

Sauvage..........	(1850- 〃)	1888- 〃

---

[1] Dans cette chronologie des professeurs qui se sont succédé dans chaque chaire, nous indiquons, pour chaque professeur : par les chiffres entre parenthèses, les dates de sa naissance et de sa mort; par les chiffres qui suivent, la période de son professorat officiel.

Les suppléances sont indiquées dans la colonne à la suite.

4° MÉTALLURGIE.

(Plus spécialement désigné jusqu'en 1856 sous le nom de *minéralurgie.*)

École des mines à la Monnaie.

Guillot-Duhamel père	(1730-1816)	1783-1790	Professait en même temps l'exploitation des mines et les machines (cours 1°).

École des mines de la rue de l'Université.

Schreiber........	(1746-1827)	1794-1797	Suppléé par Miché; n'a jamais professé.
Hassenfratz.......	(1755-1827)	1797-1802	

École des mines du Mont-Blanc.

Hassenfratz.......	(1755-1827)	1802-1814	

École des mines à Paris.

Hassenfratz.......	(1755-1827)	1814-1826	
Guenyveau.......	(1782-1861)	1826-1840	
Le Play..........	(1806-1882)	1840-1856	
Piot.............	(1817 1858)	1856-1858	Suppléé par Rivot en même temps que celui-ci professait la docimasie.
Gruner..........	(1809-1883)	1858-1872	
Lan.............	(1826-1885)	1872-1885	Suppléé depuis 1884 par M. Lodin, son successeur.
Lodin...........	(1849- ")	1885- "	

5° CHIMIE INDUSTRIELLE.

(Cours créé en 1887.)

Le Chatelier......	(1850- ")	1887- "

6° DOCIMASIE.

École des mines à la Monnaie.

Sage............	(1740-1824)	1783-1790	C'est à titre historique seulement qu'on peut considérer comme un cours de *docimasie* celui de *chimie docimastique* professé par Sage.

École des mines de la rue de l'Université.

Vauquelin........	(1763-1829)	1794-1801
Collet-Descotils....	(1773-1815)	1801-1802

École des mines du Mont-Blanc.

"	"	"	Il n'y avait pas de cours spécial de docimasie; le professeur de métallurgie donnait les explications de chimie nécessaires.

École des mines à Paris.

Collet-Descotils	(1773-1815)	1814-1815	
Berthier..........	(1782-1861)	1816-1845	Suppléé par Regnault de 1838 à 1840, et depuis 1840 par Ebelmen.
Ebelmen.........	(1814-1852)	1845-1852	
Rivot............	(1820-1869)	1852-1869	Suppléé en 1868-1869 par M. Moissenet.
Moissenet	(1831- ")	1869-1877	Suppléé à diverses reprises, depuis 1872, par M. Carnot.
Carnot..........	(1839- ")	1877- "	

7° MINÉRALOGIE ET GÉOLOGIE.

(Sage, à son école, professait exclusivement la minéralogie; à l'École de la Convention, le cours s'intitulait : Minéralogie et géographie physique; le cours a été dédoublé en 1835 dans les deux cours distincts de *minéralogie* et de *géologie.*)

École des mines à la Monnaie.

Sage	(1740-1824)	1783-1790	Sage professait en même temps la chimie docimastique (voir 6°).

École des mines de la rue de l'Université.

Hassenfratz	(1755-1827)	1794-1795	Haüy professait à part la cristallographie.
Hauy............	(1743-1822)	1795-1802	Pour la géographie physique (géologie), qui alternait avec la minéralogie, Haüy fut suppléé par : Ch. Coquebert de Montbret..... 1796-1797. Dolomieu....... 1797-1798. Brongniart (Alex.) 1798-1799.

École des mines du Mont-Blanc.

Brochant de Villiers.	(1772-1840)	1802-1814	

École des mines à Paris.

Brochant de Villiers.	(1772-1840)	1815-1835	Suppléé par Dufrénoy à partir de 1825, et à partir de 1827 par : Dufrénoy, pour la minéralogie; Élie de Beaumont, pour la géologie.

8° MINÉRALOGIE.

(Cours distinct créé en 1835 par le dédoublement du cours de *minéralogie et géologie* [7°].)

Dufrénoy.........	(1792-1857)	1835-1847
De Sénarmont.....	(1808-1862)	1847-1862
Daubrée.........	(1814-1896)	1862-1872
Mallard..........	(1833-1894)	1872-1894
Termier..........	(1859- ")	1894- "

9° GÉOLOGIE.

(Cours distinct créé en 1835 par le dédoublement du cours de *minéralogie et géologie* [7°].)

Elie de Beaumont..	(1798-1874)	1835-1874	Suppléé plus ou moins complètement par de Chancourtois : en fait, depuis 1852; officiellement depuis 1856.
De Chancourtois...	(1820-1886)	1875-1886	M. Bertrand a suppléé de Chancourtois à partir de 1885-1886.
Bertrand.........	(1847- ")	1886- "	

10° PALÉONTOLOGIE.

(Des conférences de paléontologie, comme annexes au cours de géologie, ont commencé en fait en 1845; elles ont été régularisées en 1848; le cours a été créé par le décret de 1856.)

Bayle............	(1819-1895)	1845-1881
Douvillé..........	(1846- ")	1881- "

11° PALÉONTOLOGIE VÉGÉTALE.

(Conférences faites comme annexes du cours de paléontologie depuis 1878; régularisées en 1887.)

Zeiller...........	(1847- ")	1878- "

12° GÉOLOGIE APPLIQUÉE.

(Ce cours a été créé en 1879 par transformation du cours d'*agriculture, drainage et irrigations;* il fut alors cours d'*agriculture et géologie technique;* il est devenu le cours actuel en 1887.)

Fuchs...........	(1837-1889)	1879-1889
De Launay........	(1860- ")	1889- "

13° AGRICULTURE, DRAINAGE ET IRRIGATIONS.

(Des leçons d'*agriculture et drainage* ont été introduites en 1853, annexées au cours de *législation et économie industrielle* [10°]; le cours a été créé en 1856; il n'a eu un professeur titulaire spécial qu'en 1864; le cours a disparu par transformation, en 1879, dans le cours précédent de *géologie appliquée*.)

Delesse.......... (1817-1881) 1864-1879

14° CHEMINS DE FER ET CONSTRUCTION.

(Des conférences sur les chemins de fer seuls ont été créées en 1846; le cours complet a été créé en 1848 pour se dédoubler en 1879 dans les deux cours distincts de *chemins de fer* et de *construction*.)

Couche.......... (1815-1879) 1846-1879 { Suppléé depuis 1877 par Résal, qui devait succéder à Couche dans le cours dédoublé de *construction*.

15° CHEMINS DE FER.

(Cours distinct créé en 1879 par le dédoublement du cours de *chemins de fer et construction* [14°].)

Vicaire........... (1839- 〃) 1879- 〃

16° CONSTRUCTION.

(Cours distinct créé en 1879 par le dédoublement du cours de *chemins de fer et construction* [14°].)

Résal............. (1828-1896) 1879-1896
Humbert........... (1859 - 〃) 1896- 〃

17° CONSTRUCTION DE MACHINES.

(Leçons instituées en 1887 comme annexes du cours de construction [16°] et complétant depuis 1888 le cours de machines [3°].)

Sauvage .... (1850- 〃) 1887- 〃 { M. Sauvage professe depuis 1888 le cours distinct de *machines*.

18° ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE.

(Conférences instituées en 1887 et transformées en cours en 1893.)

Potier........... (1840- 〃) 1887- 〃 { Depuis la création du cours jusqu'à 1897 M. Potier a été suppléé à divers reprises par M. Walkenaër.

19° LÉGISLATION ET ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

(Cours créé en 1848 et dédoublé en 1885 dans les deux cours de *législation* et d'*économie industrielle;* de 1853 à 1864, le professeur titulaire faisait en outre les leçons d'*agriculture et de drainage* [13°].)

Jean Reynaud.....	(1806-1863)	1848-1851	Le cours n'a pas eu lieu en 1851-1852.
De Villeneuve.....	(1803-1874)	1852-1862	De Villeneuve a été, à diverses reprises, suppléé par M. Lamé Fleury.
Lamé Fleury......	(1823- 〃)	1862-1868	
Dupont..........	(1817-1896)	1868-1882	
Aguillon.........	(1842- 〃)	1882-1885	

20° LÉGISLATION.

(Cours distinct créé en 1885 par dédoublement du cours de *législation et économie industrielle* [19°].)

Aguillon.........	(1842- 〃)	1885- 〃	

21° ÉCONOMIE INDUSTRIELLE.

(Cours distinct créé en 1885 par dédoublement du cours de *législation et économie industrielle* [19°].)

Cheysson.........	(1836- 〃)	1885- 〃	

22° TOPOGRAPHIE ET LEVER DE PLANS.

(Jusqu'en 1844 les leçons de lever de plans étaient comprises dans le cours d'*exploitation des mines et machines* [1°]; elles ont été données à part depuis; les exercices sur le terrain et dans les catacombes se faisaient avant 1844 sous la direction de l'inspecteur et se font depuis sous la direction du professeur de topographie, toujours avec le concours du chef des travaux graphiques [23°].)

Delaunay.........	(1844-1872)	1844-1849	Était en même temps chargé de la surveillance des travaux graphiques et d'un cours préparatoire.
De Chaucourtois (*d. n.*)............	(1820-1886)	1849-1856	*Idem.*
Haton de la Goupillière (*d. n.*).....	(1833- 〃)	1857-1861	Était en même temps chargé d'un cours préparatoire, mais non de la surveillance des travaux graphiques.
Fuchs (*d. n.*)......	(1857-1889)	1862-1883	Chargé en outre jusqu'en 1879 d'un cours préparatoire et à partir de 1879 d'un cours spécial (12°).
Pelletan..........	(1848- 〃)	1884- 〃	

23° TRAVAUX GRAPHIQUES.

Écoles des mines à la Monnaie.

Miché........... (1755-1820) 1783-1790 { Ingénieur des mines; faisait en même temps un cours d'architecture pratique.

École des mines de la rue de l'Université.

Cloquet.......... (? - ?) 1794-1802

École des mines du Mont-Blanc.

(Il n'y avait pas de chef des travaux graphiques.)

École des mines à Paris.

(Jusqu'en 1832 il n'y a pas eu de chef de travaux graphiques; Lefroy, inspecteur des études, surveillait cette partie des exercices.)

Girard.......... (? -1844) 1832-1844

(A la mort de Girard, il n'y eut plus de chef spécial des travaux graphiques jusqu'en 1857; la surveillance fut exercée, sous l'autorité de l'inspecteur, par l'ingénieur chargé des leçons de topographie [voir 22°], à savoir successivement : Delaunay [1844-1849], de Chancourtois [1849-1857].)

Amouroux........ (? -1869) 1857-1869
Lenoir.......... (1834- //) 1869- //

§ 3. — Chronologie des cours préparatoires.

Il a existé des cours préparatoires à l'École de Sage, ainsi qu'au début de l'École de la Convention; nous ne rappelons ici ce précédent que pour mémoire, sans vouloir y rattacher, autrement qu'au point de vue historique, la filiation des véritables cours préparatoires créés en 1844.

Depuis cette date, cinq matières ont été enseignées dans ces cours: analyse, mécanique, géométrie descriptive, physique et chimie, avec des développements variables pour chacune, et une répartition en deux, trois et enfin quatre cours. Pour tenir compte de toutes ces circonstances, nous avons cru devoir adopter un autre ordre que celui des cours spéciaux, en partageant les cinquante-cinq ans en cinq périodes correspondant aux modifications principales introduites dans cet enseignement.

1° DE 1844 À 1848; 2 COURS.

Analyse et mécanique, géométrie descriptive et physique.......... Delaunay [1]
Chimie générale.. Rivot.

---

[1] Quand le nom du professeur n'est pas suivi d'une date, il a professé durant toute la période.

2° DE 1848 À 1856; 3 COURS.

Mécanique et physique.....	Delaunay.......	1848-1850	
	Sentis.........	1850-1853	
	Philips........	1853-1855	Suppléé temporairement par Huyot en 1855.
	Bochet........	1855-1856	
Géométrie descriptive et analyse........	De Chancourtois		Suppléé temporairement par Bour en 1855.
Chimie générale.	Rivot..........	1848-1852	
	Bochet........	1852-1855	
	Haton de la Goupillière.......	1855-1856	

3° DE 1856 À 1868; 3 COURS.

Mécanique et analyse......	Haton de la Goupillière.......		
Géométrie descriptive et physique.......	De Chancourtois.	1856-1860	Suppléé par M. Mussy à partir de 1858.
	Bour..........	1860-1862	Suppléé par Huyot en 1862.
	Fuchs.........	1862-1868	
Chimie générale.	Moissenet.		

4° DE 1868 À 1887; 4 COURS.

Mécanique et analyse......	Haton de la Goupillière.......	1868-1875	Suppléé depuis 1872 par M. Jordan.
	Moutard.......	1875-1887	
Géométrie descriptive......	Fuchs.........	1868-1879	
	Pelletan.......	1879-1887	
Physique.....	Potier.		
Chimie générale.	Carnot........	1868-1877	À partir de 1871, nombreuses suppléances de M. Carnot par MM. Henry ou Rigout.
	Le Chatelier....	1877-1887	

5° DE 1887 À .....; 4 COURS.

Mécanique....	Moutard.	
Géométrie descriptive et analyse........	Pelletan.	
Physique.....	Potier.........	1887-1893
	Le Verrier......	1893- "
Chimie générale.	Le Chatelier....	1887-1888
	Chesneau......	1888- "

19.

II

COLLECTIONS.

Les collections de l'École des mines qui constituent le *Musée* annexé à l'École comprennent :

1° Une collection de minéralogie;

2° Une collection de paléontologie;

3° Une collection de géologie;

4° Une collection de statistique départementale;

5° Une collection de gîtes minéraux;

6° Une collection de métallurgie;

7° Une collection de modèles.

Toutes les collections sont placées sous la haute surveillance de l'inspecteur de l'École, qui en est le *conservateur*. Les professeurs de minéralogie, de paléontologie et de géologie sont, sous son autorité, respectivement *conservateurs adjoints* des collections de minéralogie, de paléontologie et de géologie; le professeur de géologie appliquée est conservateur adjoint des deux collections de statistique départementale et des gîtes minéraux.

Il y a, en outre, des préparateurs ou des attachés soit pour une seule des collections, soit pour plusieurs.

Les deux collections qui, par leur importance absolument exceptionnelle, nécessitent un historique un peu plus détaillé, sont les collections de minéralogie et de paléontologie. Il nous suffira de dire quelques mots sur les autres.

COLLECTION DE MINÉRALOGIE.

La collection systématique de minéralogie, qui se trouve exposée dans les tables-vitrines des salles du premier étage de l'ancien bâtiment, fut commencée, lors de l'établissement de l'École

à l'hôtel de Vendôme, par Brochant de Villiers, bientôt aidé dans ce travail, dès 1819, par Dufrénoy. Malgré le nombre considérable d'échantillons, quelque cent mille, déménagés successivement de la rue de l'Université au Petit-Luxembourg et de là à l'hôtel Vendôme, cette collection commença très modestement. Au début, en 1816, Brochant de Villiers évaluait à 800 échantillons seulement le nombre de ceux composant la vraie collection minéralogique, la *collection orictognostique,* comme il l'appelait d'après le langage de l'époque. Il l'avait augmentée jusqu'en 1820 : d'un millier d'échantillons prélevés sur l'amas chaotique accumulé à l'École après son emménagement à l'hôtel Vendôme, d'un millier acheté dans le commerce ou dans des ventes, notamment à la célèbre vente du cabinet Heuland, et enfin de 1,200 échantillons, choisis, pour 900 francs, dans la collection de l'inspecteur général Lefebvre d'Hellancourt. En 1820, la collection était arrivée ainsi à compter environ 4,000 échantillons [1].

En dehors de quelques autres dons ou acquisitions, la collection s'accrut principalement jusqu'en 1845 par: l'acquisition, en 1839, du cabinet de l'inspecteur général Lelièvre, payé 2,400 fr. (environ 3,500 échantillons); la part attribuée, en 1825, à l'École des mines, après le décès de Sage, sur les collections réunies par lui à l'hôtel des Monnaies; la collection léguée. par Paillette en 1844. On peut également signaler, bien que d'importance moindre, les collections Juncker et Héron de Villefosse.

A cette époque, la collection systématique de minéralogie comptait, d'après Dufrénoy, 5,620 échantillons exposés dans les tables-vitrines et 860 de grandes dimensions; cet ensemble était alors estimé à 80,000 francs.

---

[1] En 1820, on conservait encore distincte et séparée la *collection minéralogique, d'après le système allemand,* envoyée classée de Freiberg, en 1802; cette collection s'est fondue depuis dans les autres.

En 1845 eut lieu l'acquisition, au prix de 110,000 francs, du célèbre cabinet de Drée.

Dans ces derniers temps, à la collection principale de minéralogie sont venues se joindre deux collections bien connues et qui ont été maintenues distinctes, dont il a été fait don à l'École, en 1881, par M. Adam[1] et, en 1888, par M. Delessert.

Lors de la vente des diamants de la Couronne, il a été attribué à la collection un certain nombre de pierres précieuses ayant un intérêt minéralogique plus qu'une valeur réelle comme bijoux[2].

Parmi les dons d'échantillons isolés qui méritent d'être mentionnés pour la beauté et la rareté des pièces, il faut signaler les séries de plombagine et de néphrite provenant des exploitations de M. Alibert, en Sibérie, et un diamant du Cap incrusté dans sa roche verte qui a été donné, grâce à l'obligeant intermédiaire de Maurice Chaper, par M. le baron Erlanger.

Depuis 1889, la collection a reçu, à trois reprises différentes, des lots de minéraux américains admirablement choisis et renfermant des types rares, et aussi des échantillons de dimensions exceptionnelles. Ces trois dons, ayant une valeur totale qui n'est pas inférieure à 25,000 francs, ont été faits par un ancien élève de l'École, l'industriel américain bien connu, Eckley B. Coxe, prématurément décédé en 1896. Il n'avait fait que suivre l'exemple de M. le professeur Egleston, de Columbia College, ancien élève, lui aussi, de l'École des mines de Paris. Après avoir offert à l'École une très belle série de minéraux, M. Egleston a récemment complété ses largesses en donnant une somme de 50,000 francs,

---

(1) La collection Adam, en petits échantillons, est remarquable par le nombre des types rares et choisis que son propriétaire avait réussi à réunir d'une façon très complète.

(2) Leur valeur peut être estimée à 20,000 francs environ.

dont les arrérages doivent être exclusivement consacrés à l'entretien et à l'enrichissement de la collection de minéralogie. Grâce à cette augmentation de ses ressources annuelles, cette collection, longtemps stationnaire, va pouvoir s'accroître, conservant ainsi l'un des premiers rangs parmi les musées minéralogiques du monde.

Il faut citer encore comme un donateur d'une générosité exceptionnelle, M. Cumenge, ingénieur en chef honoraire des mines, à qui la collection doit de nombreux échantillons de minéraux américains, en particulier de très beaux lots de boléite et de carnotite.

A la collection de minéralogie se trouvent rattachés des échantillons d'une valeur exceptionnelle à tous égards : ce sont les produits artificiels résultant des expériences classiques sur la reproduction des minéraux, notamment de celles d'Ebelmen, de Sénarmont, Daubrée, Charles et Georges Friedel, Sarasin, Hautefeuille, de Schulten, etc.

COLLECTION DE PALÉONTOLOGIE [1].

Lorsqu'en 1820 Brochant de Villiers, en faisant connaître à l'administration la situation des collections de l'École, formulait des propositions sur le développement qu'elles lui paraissaient devoir prendre, il signalait qu'on avait à créer en entier la *collection de coquilles et de madrépores,* nom sous lequel débuta l'importante collection d'aujourd'hui, qui rivalise d'intérêt et de valeur avec la collection de minéralogie. On n'avait, en somme, à cette époque, disait Brochant de Villiers, qu'une suite de coquilles vivantes

---

[1] Les renseignements sur la collection de paléontologie, sauf ceux du début, sont empruntés à une notice de M. Douvillé, professeur de paléontologie et conservateur adjoint de la collection.

achetées à la succession Tonnelier, mort en 1818 [1]; les fossiles se trouvaient dispersés dans les collections statistiques de la France ou dans d'autres.

Lecocq, attaché plus spécialement aux collections dans ce but, dès sa sortie de l'École en 1835, paraît être le premier qui ait commencé à s'occuper de la collection de paléontologie. En 1837, on signalait qu'on avait exposé dans les salles du premier étage, à la suite et au sud de la collection de minéralogie, quelque 2,000 échantillons, dans lesquels vraisemblablement étaient comprises les coquilles vivantes de feu Tonnelier.

En 1839, Voltz, connu pour ses travaux de paléontologie, était venu accidentellement, appelé par Dufrénoy, travailler avec Lecocq. Ce travail, en somme, n'avança guère à raison du mauvais état de la santé de Lecocq qui, à partir de 1840, dut s'absenter à peu près constamment.

En réalité, on n'était pas encore sorti du chaos lorsque M. Bayle succéda à Lecocq, en 1844. Aux échantillons provenant des diverses collections non classées ou non utilisées, appartenant à l'École, sont venues s'ajouter successivement :

1° La collection *de Koninck,* comprenant les types figurés par de Koninck dans son premier ouvrage sur le calcaire carbonifère de Belgique, donnée, en 1846, dans des conditions relatées à la page 151;

2° La collection *Puzos,* riche surtout en céphalopodes et ren-

---

[1] Tonnelier avait été conservateur au cabinet de Sage avant d'être employé en cette qualité par l'agence des mines. Au début de l'École de la Convention, il a, en outre, professé accidentellement un cours préparatoire de mathématiques et même par suppléance, la minéralogie. Après le départ pour Pesey, il est resté garde des collections de l'Administration des mines à la rue de l'Université et a continué ses fonctions à l'hôtel Vendôme jusqu'à sa mort.

Il a publié divers travaux de minéralogie dans le *Journal des Mines.*

fermant un grand nombre de types étudiés et figurés par d'Orbigny, donnée en 1848;

3° Une belle série d'ossements fossiles de Saint-Prest donnée par *M. de Boisvillette*, en 1854;

4° La collection d'échinides de *Michelin;*

5° La collection *Deshayes*, achetée pour 100,000 francs en 1867, comprenant, en outre des types figurés dans les monographies du terrain tertiaire parisien et de ceux décrits par Deshayes dans l'*Encyclopédie méthodique*, une collection générale des fossiles de tous les terrains et une très belle collection de coquilles vivantes;

6° La collection *Dupin*, acquise en 1864, comprenant les fossiles du gault et du néocomien des environs de Saint-Florentin, dont un grand nombre d'échantillons ont été figurés par d'Orbigny dans la *Paléontologie française;*

7° La belle collection des fossiles de Grignon, recueillie par *M. Caillat*, achetée en 1864;

8° Une collection du silurien de Bohême achetée à *Barrande*, et comprenant les crustacés, les céphalopodes, les brachiopodes, les gastropodes et les lamellibranches, collection qui sera prochainement complétée par l'adjonction des crinoïdes;

9° La collection *Terquem*, achetée en 1872, presque entièrement composée de fossiles du terrain jurassique de la Lorraine et comprenant tous les types figurés par Terquem dans ses différents mémoires, ainsi qu'une magnifique série de foraminifères;

10° En 1873, *M. de Verneuil* a légué à l'École des mines la magnifique collection qu'il avait réunie dans ses nombreux voyages géologiques [1], elle comprend : une collection générale

---

[1] V. Barrande, Notice sur la collection de Verneuil, *Annales des mines*, 7e série, t. IV, p. 273.

des fossiles de l'Espagne, recueillie à l'appui de la carte géologique de ce pays, et les collections des fossiles paléozoïques de la Russie, de la France, de l'Angleterre, de la Belgique, de l'Amérique, etc.:

11° En 1882 a été achetée, pour 3,000 francs, une partie de la collection *Étallon,* comprenant principalement des fossiles des terrains jurassique et crétacé du Jura et en particulier des couches coralligènes de Valfin;

12° En 1885, *M. Ernest Javal* a fait don à l'École des mines de la belle collection de mammifères fossiles qu'il avait recueillie dans les phosphorites du Quercy;

13° En 1887, *Fontanes* a légué une partie de sa collection comprenant les nombreux fossiles recueillis par lui dans le bassin du Rhône, parmi lesquels il faut signaler particulièrement les fossiles tertiaires et une belle série du terrain jurassique de Crussol;

14° Enfin, en 1894, *Cotteau* lègue à l'École des mines la magnifique collection d'échinides qu'il avait rassemblée depuis de longues années, la plus importante des collections de cette nature.

À ces acquisitions principales, il faut ajouter un grand nombre de dons particuliers, d'une importance variable, dus à la générosité des visiteurs et des savants qui viennent travailler dans les collections.

Par le nombre et le choix des échantillons, par leur arrangement méthodique et par les commodités qu'elle offre à l'étude, cette collection, qui, depuis 1878, occupe tout le second étage de l'ancien bâtiment sur une superficie de 950 mètres carrés, doit être placée au premier rang des collections similaires.

On peut estimer à 260,000 francs les dépenses d'acquisition de collections faites par l'État et à 350,000 francs au moins la valeur marchande des legs. En tant que collection, cette valeur s'aug-

mente hors de toute appréciation parce qu'elle contient des échantillons uniques, des préparations de fossiles d'une beauté exceptionnelle dues à la science consommée et à l'habileté de M. Bayle, et au nombre considérable de types décrits et figurés dans les ouvrages originaux.

Paléontologie végétale. — Depuis que M. Zeiller a été attaché, il y a quelque douze ans, à la collection de paléontologie pour s'y occuper spécialement de la paléontologie végétale, les collections y relatives se sont développées et ont été plus exactement déterminées, plus méthodiquement classées et mieux disposées pour l'étude.

En 1847-1850, l'École avait reçu une partie de la collection Graeser; elle a constitué le premier noyau de la série paléophytologique. Celle-ci s'est surtout enrichie, notamment dans ces dernières années, par des dons habituellement dus à la générosité des exploitants, qui ont répondu avec empressement aux demandes à eux faites à ce sujet; nous citerons en particulier une magnifique série d'empreintes des mines de la Grand'Combe, donnée par la compagnie concessionnaire de ces mines, et des envois considérables provenant des principales exploitations du bassin de Valenciennes.

M. l'inspecteur général du Souich a fait don à l'École de la collection recueillie par lui dans ce dernier bassin; M. Grand'Eury a envoyé la série des formes végétales du bassin houiller de Saint-Étienne, il a donné en outre l'ensemble des empreintes végétales du bassin du Gard ayant servi de base à son étude sur la géologie et la paléontologie de ce bassin houiller, et comprenant les types des espèces nouvelles décrites et figurées par lui; M. Fayol a envoyé les spécimens les plus complets de la flore houillère de Commentry; de même, M. Jules Chagot, d'une part, et MM. Schneider et Cie, d'autre part, ont donné d'importantes sé-

ries d'empreintes des mines de Blanzy et du Creusot; enfin, M. Mouret, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a fait don à l'École de la belle collection de plantes fossiles recueillie par lui dans les dépôts houillers et permiens des environs de Brives, et M. Marty, d'une remarquable série d'empreintes des cinérites du Cantal.

De l'étranger, l'École a reçu également de nombreux dons parmi lesquels il y a lieu de signaler : une très importante collection d'empreintes du bassin houiller d'Héraclée, donnée par M. Ralli, ingénieur aux mines de Coslou; une suite d'empreintes rhétiennes de Scanie, envoyée par M. Nathorst; une riche collection de plantes liasiques de Steierdorff, en Hongrie, donnée par la Société I. R. P. de la Staatbahn; une série d'empreintes du permotrias de l'Inde, don du *Geological Survey of India;* une très importante série de plantes fossiles des gîtes de charbons rhétiens du Tonkin, donnée tant par M. Sarran, ingénieur colonial, que par les sociétés minières de Hongay et de Kébao; une remarquable collection de végétaux houillers de Pensylvanie, donnée par M. Lacoe, de Pilhton, et une intéressante série d'empreintes houillères de Rio-Grande do Sul (Brésil), donnée par S. A. Mme la comtesse d'Eu.

Enfin, l'École a fait en 1891 l'acquisition de la collection Helmhacker, composée principalement d'empreintes du permo-houiller de Rossitz, en Moravie.

COLLECTION DE GÉOLOGIE.

Cette collection, placée dans l'aile sud des salles du premier étage du vieux bâtiment, comprend une double collection systématique pour l'étude :

1° De roches rangées et nommées d'après les classifications fondées sur l'étude microscopique;

2° De séries méthodiques servant à établir la composition et les

caractères des divers étages sédimentaires dans les pays qui leur servent de types.

COLLECTION DE STATISTIQUE DÉPARTEMENTALE.

Cette collection, qui occupe toutes les armoires vitrées autour de la collection de minéralogie, remonte à l'origine même de l'institution de l'École. De Chancourtois, de 1853 à 1864, s'était occupé de la classer méthodiquement, après en avoir élagué tous les échantillons dépourvus d'intérêt qui encombraient l'École. Dans ces derniers temps, M. de Launay l'a reprise de fond en comble pour en faire un musée des richesses minérales de la France et y représenter, en même temps, ce qui manque ailleurs, département par département, la géologie de la France (principaux types de roches et de terrains, etc.).

M. de Launay a, en outre, réussi à grouper dans une même salle toutes les colonies françaises auxquelles on ne pouvait donner un grand développement.

On peut rattacher à cette collection statistique la belle suite de marbres et pierres polies du vicomte Héricart de Thury, acquise par l'État en 1854.

COLLECTION DES GÎTES MINÉRAUX.

Cette collection se lie naturellement au cours de géologie appliquée. L'idée première en remonte à Le Play, qui entendait faire rentrer cette collection dans son musée de minéralurgie dont elle devrait être un des éléments. De Chancourtois reprit l'idée en se plaçant plutôt sur le terrain de la géologie pure que sur celui de la statistique ou de l'utilisation industrielle; la collection devait servir à éclairer les questions de géogénie de gîtes minéraux. E. Fuchs, professeur de géologie appliquée et conservateur adjoint de la collection, s'était occupé de la développer et de la compléter aussi largement que possible.

Il appartenait à M. de Launay de lui donner encore plus d'ampleur et de la classer avec plus de méthode. Grâce à 150 donateurs, elle représente 1,400 gîtes pour 40,000 échantillons répartis dans huit salles : 1° types généraux de gisements; 2° métalloïdes, métaux alcalins et alcalino-terreux; 3° fer; 4° métaux terreux et petits métaux divers; 5° cuivre; 6° plomb et zinc; 7° argent; 8° or.

Le catalogue complet de cette collection a paru dans les *Annales des mines* en 1897.

COLLECTION DE MÉTALLURGIE.

Nous avons dit le développement donné par Le Play à cette collection qui n'existait guère avant lui, au point de vue tout au moins du classement et de la méthode. Depuis, elle ne s'est guère augmentée en dehors de quelques échantillons nouveaux dont le professeur de métallurgie peut avoir besoin pour son cours, et elle est quasiment abandonnée. Il n'en pouvait guère être autrement.

COLLECTION DE MODÈLES.

Dès l'École de Sage, Duhamel avait pris le soin de faire construire, pour l'usage de son cours, des modèles, à échelle réduite, des principaux appareils employés de son temps dans les mines et la métallurgie.

Le Play en avait également fait établir pour compléter sa collection de minéralurgie.

Depuis, à la suite de toutes les expositions universelles, il a été fait don à l'École d'un grand nombre de modèles, à échelle réduite, relatifs aux mines et à la métallurgie, qui avaient fait bonne figure dans ces tournois industriels : représentation ou relief de couches ou filons, de leur système d'exploitation, de puits, d'appareils divers de mines et d'usines, bocards, fourneaux, etc.

Aux modèles et appareils de mines et de métallurgie sont venus s'ajouter, en beaucoup moins grand nombre, ceux relatifs aux chemins de fer et à la céramique.

III

BUREAU D'ESSAIS.

Le bureau d'essais de l'École des mines, dont nous avons signalé la création en 1845, constitue une institution annexe, de même que le Musée de l'École des mines. Il est placé sous l'autorité de l'administration de l'École et peut être dirigé, soit par le professeur de docimasie[1], soit par le professeur de chimie industrielle (depuis le décret du 18 juillet 1890); le professeur de chimie générale des cours préparatoires a toujours été désigné comme directeur adjoint du bureau d'essais[2].

Des chimistes ou aides-chimistes, au nombre de deux ou de trois, concourent à l'exécution des analyses sur les indications du directeur ou du directeur adjoint.

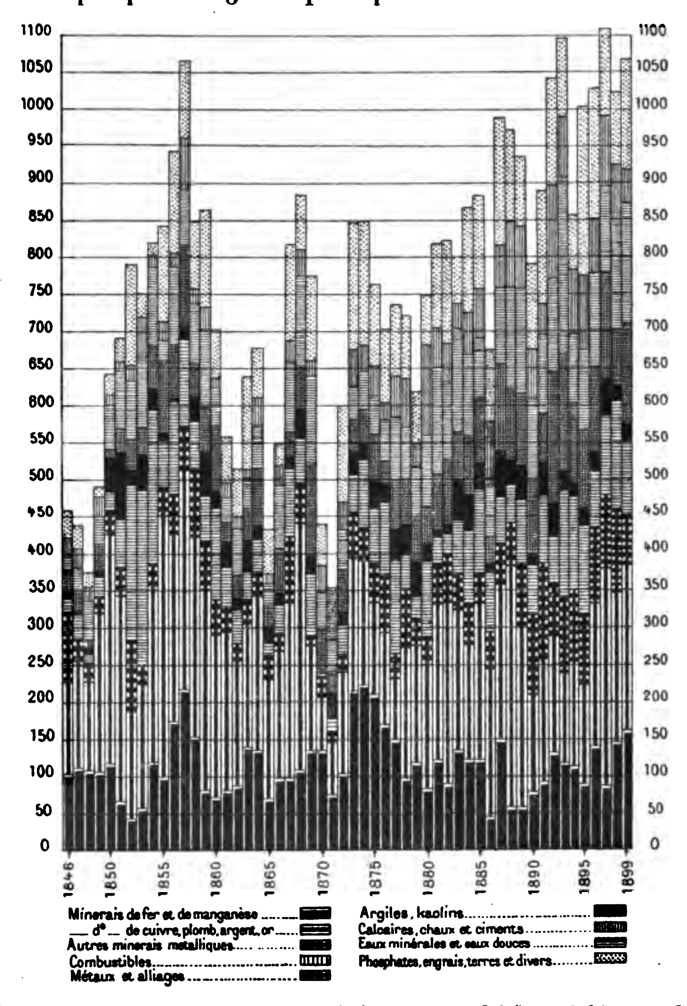
A l'occasion de l'Exposition universelle de 1878, M. Carnot, directeur du bureau d'essais, comme il l'est encore aujourd'hui, a publié un historique de ce service. Il donne chaque année, dans le *Journal officiel*, un compte rendu des travaux qu'il a exécutés pendant l'année précédente.

---

[1] Lors de la création du bureau d'essais, Ebelmen était administrateur adjoint de la Manufacture de Sèvres; cette situation ne lui permettant pas de suivre d'assez près le fonctionnement du laboratoire, Rivot en eut la direction effective; il en prit la direction officielle en 1848, lorsque Ebelmen devint administrateur de Sèvres. La direction passa ensuite entre les mains de M. Moissenet (1869-1877); elle est dans celles de M. Ad. Carnot, depuis 1877.

[2] En 1888, M. Le Chatelier, quittant le cours de chimie générale des cours préparatoires pour devenir professeur de chimie industrielle des cours spéciaux, est resté néanmoins directeur adjoint jusqu'en 1898. A cette époque, il fut nommé professeur de chimie minérale au Collège de France et demanda à être relevé de ses fonctions au bureau d'essais; elles furent confiées à M. Chesneau, professeur de chimie générale.

Le nombre des analyses effectuées chaque année, depuis l'origine du bureau d'essais, en 1845, jusqu'en 1899, est représenté par la hauteur des ordonnées du diagramme ci-joint. Des teintes diverses servent à indiquer la nature des échantillons analysés, répartis en quelques catégories principales.



On y peut remarquer trois minima, en 1848, 1865 et 1871, et trois maxima, en 1857, 1893 et en 1897. Depuis 1895, le

nombre annuel des analyses est toujours resté supérieur à mille, bien qu'il n'y ait au bureau d'essais que deux chimistes, tandis qu'on en comptait jusqu'à quatre pendant la période 1856-1862 et trois pendant le reste de la période 1854-1872. Il est permis de dire que la proportion actuelle des analyses représente un travail vraiment excessif pour le petit nombre des chimistes. On est trop à la merci du moindre accident de santé, qui viendrait entraver le travail même d'une façon temporaire.

Le bureau d'essais est actuellement installé dans les locaux qui se trouvent dans le nouveau bâtiment des laboratoires, de plain-pied avec les laboratoires des élèves.

Nous donnons ci-dessous le tableau chronologique du personnel qui a été attaché depuis sa création au bureau d'essais :

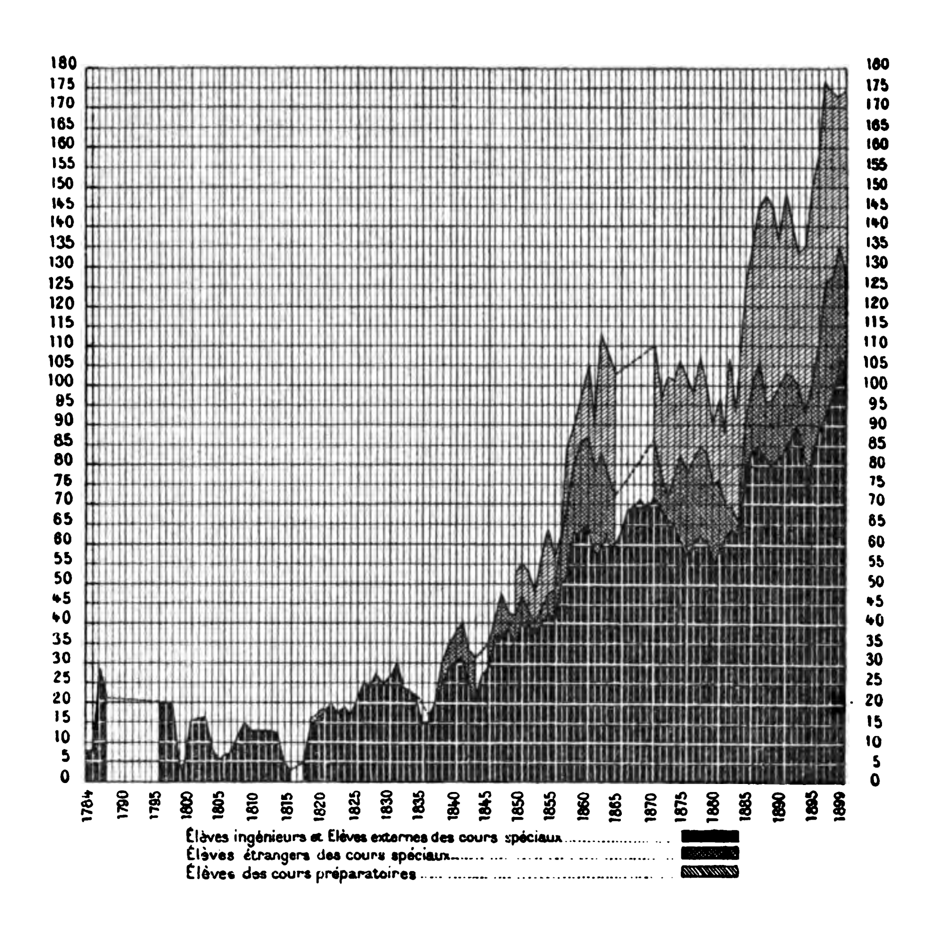
DIRECTEURS.		DIRECTEURS ADJOINTS.		CHIMISTES ET AIDES-CHIMISTES.	
Ebelmen, 1845-1848	Rivot, 1845-1848	(1)........	1845-1848	Pierre...	1846
		Beudant...	1852-1855	Chavrel..	1847
Rivot....	1848-1869	Moissenet..	1856-1869	Daguin..	1848-1862
Moissenet.	1869-1877	Carnot....	1869-1877	Bouquet .	1852-1853
Carnot...	1877- //	Le Chatelier	1877-1898	Gorjeu...	1854-1855
		Chesneau..	1898- //	Droz....	1854-1855
				Demanet.	1856-1859
				Delvaux..	1856-1872
				Rioult...	1856- //
				Le Baigue.	1859
				Rigout (2).	1860-1864
				Brunet..	1864-1887
				Dirvell...	1887-1894
				Goutal . .	1894- //

(1) Il n'y a pas eu de directeur adjoint pendant la période de 1845-1848 où Rivot faisait fonctions de directeur.

(2) M. Rigout a quitté le service d'analyses au bureau d'essais pour s'occuper exclusivement du service des laboratoires des élèves.

IV

EFFECTIF DES ÉLÈVES.



Le diagramme ci-dessus a été dressé en vue de compléter, par une vue d'ensemble, le mouvement des élèves qui se sont formés à l'École des mines depuis sa création en 1783. Il donne le nombre des élèves qui ont subi chaque année les examens de passage ou de sortie; il ne tient donc pas compte de ceux ayant quitté l'École en

cours d'année pour une cause quelconque. Il ne comprend pas non plus les jeunes gens qui, sous la Restauration, avec le nom d'*élèves autorisés*, furent presque aussi nombreux que les *élèves externes* et dont plusieurs, jouissant des mêmes privilèges, pourraient leur être, à tous égards, assimilés.

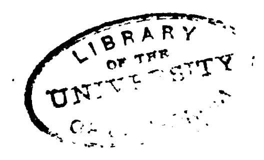


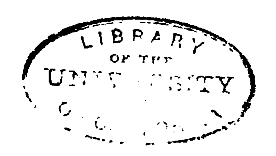
TABLE DES MATIÈRES.

PROGRAMMES DES COURS.

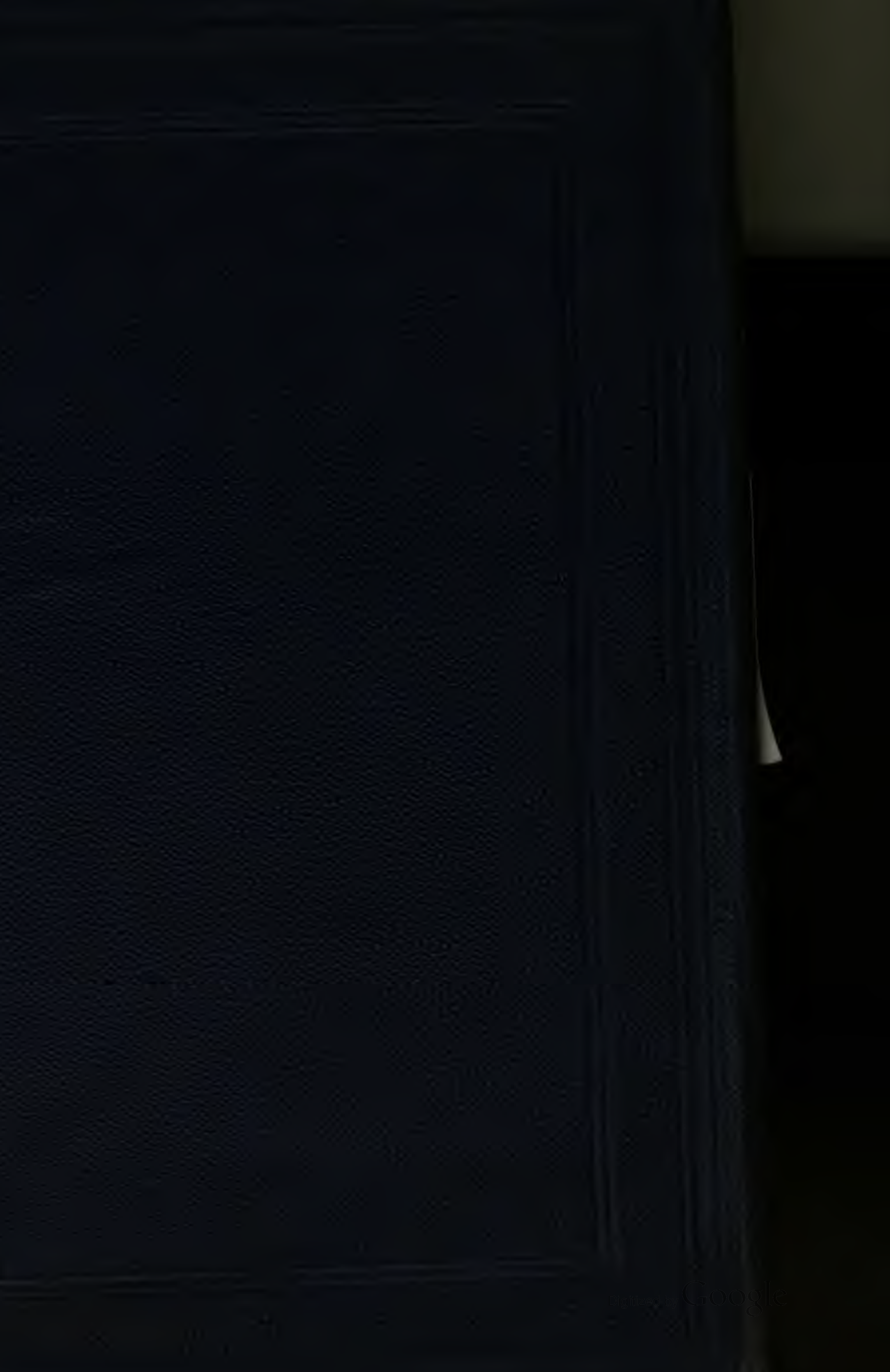
1° *Cours spéciaux :*

2° Cours préparatoires :

ANNEXES.




TN213
P3A3
81042


Google